

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**  
**SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**“METODOLOGIA PARA DISMINUIR LOS RECLAMOS DE LOS DEFECTOS DE PINTURA O ENSAMBLE INCORRECTOS EN VEHICULOS DE COMBUSTION INTERNA A TRAVES DE UN SISTEMA DE VISION”**

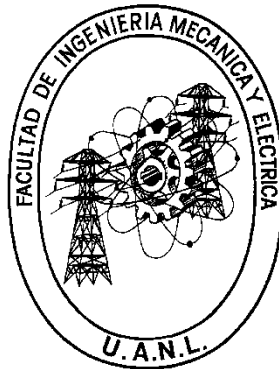
**Por:**  
**ARTURO SANCHEZ ARENAS**

**EN OPCION AL GRADO DE:**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN**

**21 DE SEPTIEMBRE DE 2024**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**  
**SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**“METODOLOGIA PARA DISMINUIR LOS RECLAMOS DE LOS DEFECTOS DE PINTURA O ENSAMBLE INCORRECTOS EN VEHICULOS DE COMBUSTION INTERNA A TRAVES DE UN SISTEMA DE VISION”**

**Por:**  
**ARTURO SANCHEZ ARENAS**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE:**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN 21 DE SEPTIEMBRE DE 2024**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
**Posgrado**

Los miembros del Comité de Evaluación de Tesis recomendamos que la Tesis "Metodología para Disminuir los Reclamos de los Defectos de Pintura o Ensamble Incorrectos en Vehículos de Combustión Interna a través de un Sistema de Visión", realizada por el estudiante Arturo Sánchez Arenas, con número de matrícula 1626713, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Automotriz.

**El Comité de Evaluación de Tesis**

Dra. Sugeheidy Yaneth Carranza Bernal  
Director


Dra. Flor Esthela Palomar Pérez  
Co-director

Dra. Adriana Salas Zamarripa  
Revisor

Dr. Diego Francisco Ledezma Ramírez  
Revisor

MBA. Fernando Antonio Diaz Bolaños  
Revisor

Vo.Bo.

  
Dr. Simón Martínez Martínez  
Subdirector de Estudios de Posgrado

Institución 190001

Programa 554502

Acta Núm. 1436

Ciudad Universitaria, a 7 de noviembre 2024.

# Índice

Agradecimientos.....	8
Dedicatoria .....	9
Capítulo 1 Introducción .....	10
Capítulo 2 Antecedentes.....	20
2.1 Planteamiento del problema .....	34
2.2 Hipótesis.....	37
2.3 Objetivos. ....	37
2.3.1 Objetivo General:.....	37
2.3.2 Objetivos Específicos: .....	37
Capítulo 3. Metodología .....	38
Capítulo 4 Pruebas y Resultados .....	53
4.1 Distribución de la cabina de inspección.....	53
4.2 Ajuste de posicionamiento de las cámaras .....	53
4.3 Saturación de luz exterior.....	58
4.4 Reacomodo Interno.....	61
4.5 Almacenamiento y programación.....	63
4.6 Ajustes Finales.....	66
Capítulo 5 Conclusiones, recomendaciones y trabajo a futuro.....	68
5.1 Conclusiones.....	68
5.2 Recomendaciones.....	69
5.3 Trabajo a futuro.....	71
Referencias bibliográficas.....	74

# Índice de imágenes

Figura 1. Primeros vehículos de KIA.....	10
Figura 2. Vista aérea de las plantas de KIA.....	11
Figura 3. Evolución de diseño de los vehículos producidos en México. ....	13
Figura 4. Sustituto del KIA Rio, el nuevo K3.....	15
Figura 5.- A) Premio JD. Power, B) K3 en su versión Hatchback, C) Hyundai Tucson y D) KIA K4 Sedán.....	16
Figura 6. Tipos de Defectos.. ....	18
Figura 7. Modificación en medición de torques. A) Torquímetros manuales y B) Torquímetros Digitales.....	35
Figura 8. Implementación de página WEB. A) Vista lateral de la computadora y B) Vista frontal de la computadora y la página web.....	36
Figura 9. Ubicación designada.....	38
Figura 10. Dimensiones de los vehículos.....	39
Figura 11. Prueba de cámara monocromática de 12 MP.....	40
Figura 12. Prueba de cámara a color de 12 MP. ....	41
Figura 13. Primer render de la cabina de inspección.....	41
Figura 14. Posicionamiento de la cámara #1. ....	42
Figura 15. Posicionamiento de las cámaras #2 (Lado Izquierdo) y #8 (Lado Derecha). ....	43
Figura 16. Posicionamiento de las cámaras #3 (Lado Izquierdo) y #7 (Lado Derecho).....	44
Figura 17. Posicionamiento de las cámaras #4 (Lado Izquierdo) y #6 (Lado Derecho).....	45
Figura 18. Posicionamiento de la cámara #5. ....	46
Figura 19. Comparación de calidad de imagen con respecto al acercamiento en cámara monocromática de 12 MP.....	47
Figura 20. Comparación de calidad de imagen con respecto al acercamiento en cámara a color de 12 MP. A) Foto Original, B) Foto aplicando zoom.....	47
Figura 21. Comparación de calidad de imagen con respecto al acercamiento en cámara a color de 21 MP. A) Foto Original, B) Foto aplicando zoom.....	48
Figura 22. Comparación de calidad de imagen con respecto al acercamiento en cámara a color de 64 MP.....	48
Figura 23. Visualización de los resultados.....	52
Figura 24. Primer posicionamiento de cámara y lampara led.....	54
Figura 25. Fotografía cámara #6. ....	55
Figura 26. Fotografía cámara #4. ....	56
Figura 27. Segundo posicionamiento de cámara y lampara led. ....	57
Figura 28. Resultado de captura derivado del cambio de posiciones entre cámara y lampara. .	58
Figura 29. Prueba realizada con problemas en las puerta.....	59
Figura 30. Prueba de reflejo de luz. ....	61
Figura 31. Plano donde se muestra el acomodo de las cámaras.. ....	62

Figura 32. Registro de carpetas y almacenamiento de imágenes.....	63
Figura 33. Almacenamiento de imágenes con error dentro de la carpeta. ....	64
Figura 34. Visualización de imágenes donde se observa 5 imágenes de un mismo modelo y color, 2 imágenes con error en el almacenaje y 1 imagen que no corresponde al modelo y color. ....	64
Figura 35. Mapeo de las cámaras, lámparas, controladores y servidor.....	65
Figura 36. Caso real de un defecto detectado por el sistema de visión, mostrando un raspón en la pintura en la puerta trasera. ....	67
Figura 37. Cámara utilizada y diferentes tipos de lentes.....	69
Figura 38.A) Primera propuesta para la creación de una segunda pared y B) Segunda propuesta para la colocación de módulos de lámparas y una segunda pared para lograr una uniformidad en la iluminación de las imágenes.....	70
Figura 39. Contaminaciones detectadas en las imágenes de resultado.....	71
Figura 40. Propuesta de cámaras por la parte inferior.....	72
Figura 41. Prueba de cámara con Inteligencia Artificial.....	73

## Índice de Tablas

Tabla 1. Especificaciones de la cámara .....	49
Tabla 2. Especificaciones del lente .....	49
Tabla 3. Especificaciones de las lámparas LED .....	50
Tabla 4. Especificaciones del controlador.....	50
Tabla 5. Especificaciones de la memoria externa .....	51
Tabla 6. Especificaciones de cable de iluminación .....	51

# Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la culminación de esta tesis. En primer lugar, agradezco profundamente a mi directora de tesis, Dra. Sugeheidy Carranza Bernal, a mis revisores la Dra. Adriana Salas Zamarripa y la Dra. Flor Palomar Pérez por su invaluable orientación, paciencia y apoyo incondicional durante todo el proceso. Su conocimiento y dedicación han sido fundamentales para el desarrollo y éxito de este proyecto.

Agradezco también a mis profesores y colegas de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad Autónoma de Nuevo León, quienes han contribuido con sus conocimientos, sugerencias y estímulo constante. Sus aportes han enriquecido mi investigación y han sido una fuente constante de motivación.

Un agradecimiento especial a mi familia y amigos por su comprensión, apoyo y ánimo durante todo este viaje. Su confianza en mí ha sido una fuente de inspiración y fortaleza.

Finalmente, a la empresa KIA México, a mis líderes Fernando Diaz y Carlos Salas, donde de alguna manera, han colaborado con la realización de este trabajo, ya sea a través de sus conocimientos, su tiempo o su apoyo moral. Sin su ayuda, este proyecto no hubiera sido posible.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Ing. Arturo Sánchez Arenas



# Dedicatoria

Dedico esta tesis primeramente a Dios, mis padres Arturo y Rosa, mi hermana Daniela, mi abuela Cuquita, mi novia Janeth, amigos, compañeros de trabajo y profesores involucrados en el desarrollo tanto de mi proyecto en físico y en esta misma tesis, cuya inspiración, apoyo incondicional y paciencia han sido la base sobre la que he construido este trabajo. Su confianza en mis capacidades y su constante aliento me han dado la fuerza necesaria para superar los desafíos que surgieron en el camino.

Agradezco también a todos aquellos que, de alguna forma, han sido parte de mi trayectoria académica y personal. Este logro no solo es el resultado de mi esfuerzo, sino también del respaldo y amor que he recibido a lo largo de este viaje.

A las personas anteriormente mencionadas cuyo apoyo y sacrificio han hecho posible que alcanzara esta meta. Sin su presencia y su fe en mí, este proyecto no hubiera sido posible.

Con todo mi cariño y gratitud,

Arturo Sánchez Arenas

# Capítulo 1

## Introducción

KIA significa “Surgiendo de Asia”, fue fundado en 1944 en Kyungsung, Corea del Sur, iniciando su producción de bicicletas.

Cambiando la producción por un vehículo de 3 ruedas llamado K-360 en 1962 y cambiando la manufactura por su primer de vehículo 4 ruedas llamado “Brisa” dando comienzo a su fabricación en 1973 (Figura 1 a) KIA K360 y b) KIA Brisa).



Figura 1. Primeros vehículos de KIA A) KIA K360 y B) KIA Brisa (Fuente de internet).

En 2015, KIA hizo su debut en México siendo ubicada en el municipio de Pesquería en Nuevo León con el inicio de la construcción de la primera armadora de la marca surcoreana en el país, consiste en 3 edificios, iniciando por la planta de soldadura, seguido de la planta de pintura y, por último, la planta de ensamble, esto dentro del área productiva, también dentro del mismo parque industrial cuenta con una pista donde se ponen a prueba todos los vehículos producidos antes de ser embarcados (Figura 2).



**Nomenclatura:**

- 1. Planta de Soldadura**
- 2. Planta de Pintura**
- 3. Planta de Ensamble**
- 4. Pista de Pruebas**

*Figura 2. Vista aérea de las plantas de KIA (Elaboración propia).*

En la planta de soldadura es donde se inicia el proceso de estampado al pasar la materia prima por los moldes para obtener por separado el chasis del vehículo, de ahí continua al área de soldadura de puntos para poder unir todas las partes obtenidas, una vez finalizado el proceso de calidad en la planta de soldadura, pasan los cuerpos a través de un puente a la planta de pintura donde se le hace la electrodeposición al chasis, aplicación de sellos y procede a la aplicación del color, estos procesos son 90% automatizados..

Por otro lado, en la planta de ensamble las unidades son 100% ensambladas de forma manual por operadores donde pasan por 6 líneas para el ensamble de arneses, partes internas, realizar el casamiento del chasis con el motor, transmisión y suspensión, en la séptima línea se llenan de fluidos (anticongelante, R134 para el aire acondicionado, gasolina), se ensamblan las puertas e inicia el proceso por parte de los inspectores de calidad donde están validando las condiciones, especificaciones y los números de parte correspondan con la hoja de inspección después de todo el proceso manual.

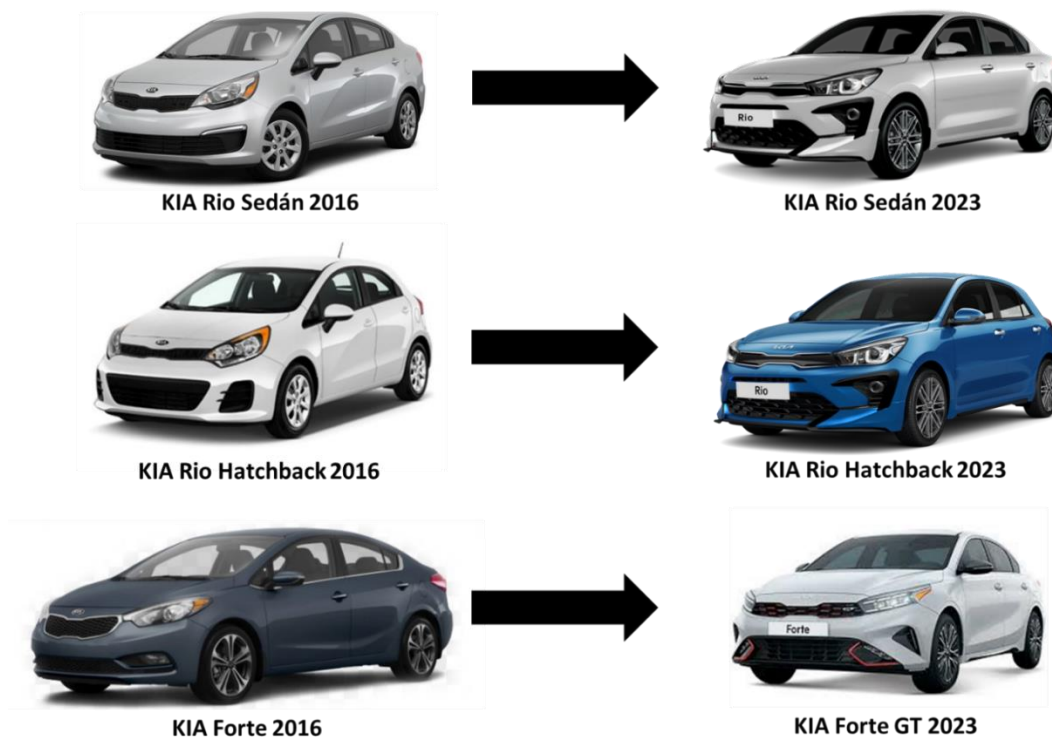
Una vez saliendo de la línea de ensamble la unidad es revisada por los siguientes procesos:

1. Alineación de llantas
2. Primera prueba de arranque y frenado
3. Prueba de fugas a través de un equipo especializado
4. Revisión de las tecnologías que pudiera traer el vehículo
5. Pista de pruebas para descartar los ruidos a través de los diferentes tipos de caminos y la detección de los ruidos de vientos producidos por el manejo a altas velocidades.
6. La simulación de lluvia donde se detectan pasos de agua por un poro o mala aplicación en la soldadura.
7. Pruebas eléctricas para la validación de todos los componentes eléctricos de seguridad y funcionales.
8. Validación general de las unidades, donde son detectados la mayoría de los defectos tanto como en el exterior o en el interior, por ejemplo:
  - Abolladuras
  - Raspones o rasguños
  - Discrepancias en los colores
  - Rebabas
  - Desfase de altura entre las uniones de las partes exteriores.
  - Malos ensambles

El año 2016 vio el inicio de operaciones de la planta de KIA, donde se producen dos vehículos emblemáticos de la marca, Forte, Rio Sedan y Rio Hatchback (Figura 3), con una capacidad total aproximada de producción de 400,000 unidades en un año.

En el año 2018, KIA Rio ganó el premio J.D. Power<sup>1</sup> en la categoría de “Automóvil Pequeño” con la calidad inicial más alta en el mercado estadounidense por un vehículo producido en México. Dando así al inicio de la fabricación de la nueva generación del Forte participando en la categoría de “Sedán Compacto” [1].

En 2019 ambos vehículos KIA fabricados en Pesquería, Rio y Forte recibieron nuevamente los máximos honores J.D. Power como vehículos de mayor calidad en el mercado estadounidense [2].



*Figura 3. Evolución de diseño de los vehículos producidos en México (Fuente de internet).*

<sup>1</sup> Los premios J.D. Power reconoce a los modelos de vehículos proyectados para tener el porcentaje más alto de precio venta sugerido por el fabricante dentro de un período de 3 años.

En 2020, con solo 4 años a sus espaldas, la planta logró producir más de 1 millón de unidades. Además, en lo que a fábricas se refiere, es la ensambladora del país que más rápido ha logrado esta proeza en comparación con las otras ensambladoras. En el 2022 el KIA Forte obtuvo nuevamente el premio del J.D. Power con mayor calidad en el mercado en el segmento de “Automóvil Compacto” [3]. KIA México se encarga de producir y distribuir vehículos a los siguientes países, con el objetivo de seguir expandiéndose:

- México
- Estados Unidos
- Canadá
- Ecuador
- Chile
- Panamá
- Emiratos Árabes
- Letonia
- Nigeria
- Puerto Rico
- Colombia
- Paraguay
- Nicaragua
- Argentina
- Líbano

En el año 2023, finalizó la producción del KIA Rio después de 7 años de manufacturarse en la planta de Pesquería para dar así el inicio de la nueva generación de K3 para el mercado LATAM y países árabes (Figura 4).



*Figura 4. Sustituto del KIA Rio, el nuevo K3 (Fuente de internet).*

Después del lanzamiento del K3 en su versión sedán, en el 2024 estaría lleno de retos para KIA México, iniciando con la culminación de la producción de KIA Forte en su versión sedán, el cual este modelo gano por 6 años consecutivos al premio del J.D. Power desde el inicio de su producción en KIA México, así como también la planta de KIA se preparó para el lanzamiento de 3 nuevos modelos, continuando con el K3 pero en su versión hatchback iniciando producción a inicio de año, en junio empezaría con una SUV de la compañía hermana la Hyundai Tucson únicamente para venta en Estados Unidos y Canadá, para que al final un mes después de iniciar con la producción de la SUV era momento de realizar el lanzamiento del nuevo sucesor del Forte, el K4 en su versión sedán (Figura 5).





B)



C)



D)

Figura 5.- A) Premio JD. Power, B) K3 en su versión Hatchback, C) Hyundai Tucson y D) KIA K4 Sedán (Fuente de internet).



## 1.2 Justificación del proyecto.

El departamento de calidad en la planta de ensamble es el último filtro para que las unidades manufacturadas pasen a ser responsabilidad de la empresa de logística para el embarque y distribución a los mercados que están destinados.

Cada unidad cuenta con una hoja de inspección donde tiene a detalle el tipo de parte que debe ser ensamblada, así mismo también se hacen anotaciones de los defectos que han sido detectados por cada operador de calidad, en el caso que llegara a tener un defecto y este no fue reparado la unidad no puede pasar a la empresa encargada de la logística, esto con la finalidad de validar que las especificaciones de cada vehículo correspondan con el tipo de mercado al que son dirigidos.

Esta es la única evidencia que se tiene de los tipos de retrabajos que han tenido las unidades, sin embargo, no se tiene una evidencia visual de cómo es que salen esas unidades a través de la cortina lista para su embarque, por lo tanto, no se tiene información para atacar la causa raíz de estos defectos.

Se busca eliminar o reducir en cantidad los defectos presentes en la Figura &, A), B) Y C):

- Malos ensambles
- Defectos en la pintura de los vehículos.
- Daños en la superficie.
- Reclamos de clientes

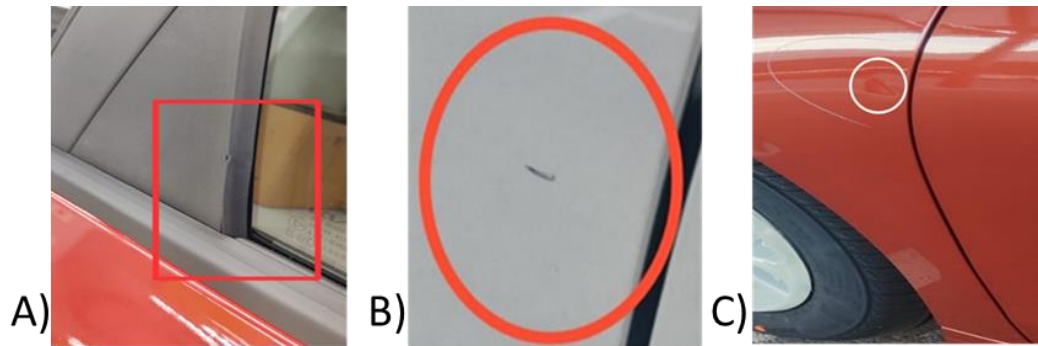


Figura 6. Tipos de Defectos. A) Malos ensambles, B) Defectos en la pintura y C) Daños en la superficie (Elaboración propia).

En el año 2022 fueron registrados un total de 2,035 casos de vehículos a los que necesitaron algún tipo de retrabajo de los cuales 1,973 unidades tenían un tipo de defecto en pintura o en la superficie y 62 casos relacionados con un mal ensamble dentro de su línea de producción.

En el transcurso del presente año 2023, han sido registrados 932 casos, 907 unidades con relación a la pintura o superficie y 25 casos con un mal ensamble.

De los defectos anteriormente mencionados:

- ✓ 54% de los casos corresponde a una contaminación en la pintura.
- ✓ 23% son relacionados con una abolladura en la superficie.
- ✓ 7% son por desportilladuras.
- ✓ 7% a algún tipo de rasguño o arañazo.
- ✓ 6% de golpes.
- ✓ 3% de caso muy especiales o que no son muy repetitivos como los anteriormente mencionados.

Todos los casos mencionados son datos de unidades que ya se encontraban listas para el embarque y fueron retenidas.

El costo que tiene que absorber KIA para la reparación del retrabajo de esos vehículos es un promedio de \$20.14 dólares por vehículo, de los cuales \$10 dólares

corresponden al servicio de traslado de la empresa encargada de la logística a la planta de ensamble para su reparación, \$2.57 dólares a la mano de obra por hora de un reparador, \$2.57 dólares a la mano de obra por hora del operador de calidad, este mismo valida que la reparación corresponda y fuera efectuada de la manera correcta, y 5 dólares es el costo promedio del material utilizado por unidad en la reparación.

Teniendo un costo beneficio de \$59,759.38 dólares en un periodo de 17 meses, y un costo de inversión total por todo el proyecto de \$240,839.56 dólares se estima obtener el retorno de inversión en 4 años.

El retorno de inversión (ROI) se calcula con la fórmula de inversión entre el beneficio, donde la inversión es el total de dinero que se necesita para la compra del equipo o maquinaria y el beneficio es todo el ahorro que se tendría en caso de invertir en ese proyecto (reducción de costos, ahorro de costos, etc.).

$$\text{Retorno de Inversión} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio}} \text{ años}$$

$$\text{Retorno de Inversión} = \frac{240,839.56}{59,755.38} \text{ años}$$

$$\text{Retorno de Inversión} = 4.03 \text{ años}$$

# Capítulo 2

## Antecedentes

Los primeros dispositivos capaces de reconocer caracteres aparecieron a finales de la década de 1920, se patentó el OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres) en Alemania bajo el nombre de máquina lectora (Tauscheck, 1929). Luego, se recibió una patente estadounidense para el OCR (Paul Handel, 1933) y, también obtuvo una patente estadounidense para dicha máquina (Tauschek, 1935) [4].

Desde la segunda mitad del siglo XX, la robótica ha desarrollado vigorosamente nuevos campos de investigación y les ha proporcionado los sentidos de los que disfrutaban los humanos. La visión artificial tiene sus raíces en este marco, visto esporádicamente a lo largo del desarrollo de los robots.

El robot SHAKEY fue presentado como parte de una iniciativa de DARPA (Charles Rosen y otros, 1969). Este robot marcó el comienzo de las máquinas que podían capturar imágenes de su entorno usando cámaras. Con esta capacidad, podría recopilar datos para informar su proceso de toma de decisiones. En ese momento, SHAKEY era de vanguardia, pero su potencial estaba limitado por el hardware inadecuado de la época, lo que llevó a su eventual obsolescencia [5].

En la Universidad de Colima se desarrolló la identificación de vehículos de motor por visión artificial y desarrolló tecnología computacional para este propósito. Para su lector de matrículas (LMA) usaron LabView como herramienta para el desarrollo de aplicaciones gráficas de propósito general e IMAQ Vision Builder para la programación

de manipulación de imágenes, lo que permitió una fácil medición y visualización de imágenes (Ceballos, 2003) [6].

En el Instituto Politécnico Nacional de Perú se utilizaron técnicas de visión por computadora en el desarrollo de estudios sobre visión artificial. En particular, en un sistema de identificación de matrículas de vehículos. El proceso de reconocimiento de caracteres se logró mediante programación únicamente en lenguaje C (Ruiz, 2010) [7].

En México se han realizado investigaciones en el campo de la robótica. La Universidad Nacional Autónoma de México destaca especialmente por un experimento que consistía en controlar un robot móvil. Se utilizó el uso del control difuso y la visión artificial a través de LabView en lugar de MATLAB para el procesamiento de imágenes, lo que finalmente creó un nuevo camino (Alcaraz, 2012) [8].

El Departamento de Ingeniería Eléctrica de la India desarrolló un sistema de visión para la inspección de superficies de acero, destacando varios elementos clave en la automatización de este proceso:

1. Adquisición de Imágenes: Para garantizar una calidad óptima de las imágenes de la superficie, es crucial que sean adecuadas y uniformes. Una buena iluminación reduce los errores computacionales durante el procesamiento de las imágenes. La obtención de imágenes de intensidad se clasifica en dos tipos de campos: campo claro y campo oscuro. En el campo claro, el sensor capta la mayor parte de la luz reflejada directamente, haciendo que la superficie aparezca brillante mientras que los defectos se muestran más oscuros. En el campo oscuro, el ángulo de los rayos incidentes respecto al vector normal de la superficie es elevado, resultando en una apariencia más oscura. Este método requiere una iluminación más intensa.
2. Fuente de Luz: La fuente de luz debe proporcionar una iluminación uniforme y sin ondulaciones tanto como sea posible. Aunque se busca una iluminación sin ondulaciones, lograr una intensidad uniforme puede ser complicado debido a la disposición y el tipo de fuente de luz utilizada, que en la mayoría de los casos es una sola fuente.

3. Tipo de Cámara: Se utilizan comúnmente cámaras CCS de alta resolución. Las cámaras de escaneo de línea son muy empleadas porque facilitan la obtención de una iluminación intensa y uniforme en el área a inspeccionar. Sin embargo, la principal desventaja de estas cámaras es que no capturan una imagen completa de una vez, requiriendo hardware adicional para combinar múltiples escaneos de línea en una sola imagen. (Neogi, Mohanta y Dutta, 2014) [9].

Un sistema de inspección de soldaduras basado en visión que utiliza un robot de estructura de pórtico de cinco ejes, un sensor de visión láser y un ordenador de control. Se abordan las inestabilidades del entorno de producción, como vibraciones y desplazamientos, que pueden provocar detecciones erróneas de defectos en las soldaduras.

#### Estructura del sistema de inspección

- El robot consta de tres ejes cartesianos y dos ejes rotativos, permitiendo controlar la orientación de la antorcha. El sensor láser, basado en la triangulación, incluye un proyector láser y una cámara CCD, y está protegido por una carcasa para evitar daños por el humo y las salpicaduras de la soldadura.

#### Algoritmos de procesamiento de imágenes

- El procesamiento de imágenes es clave para la detección de características y defectos. Se captura una imagen con luz estructurada, seguido de un preprocesamiento que elimina el ruido y las salpicaduras. Se crea una región de interés (ROI) para optimizar el tiempo de procesamiento. Luego, se extraen la línea central y los puntos de características, y se calculan los parámetros de la soldadura.

#### Pasos del procesamiento

1. Adquisición de imágenes: Se capturan imágenes en escala de grises.

2. Suavizado de imagen: Se utiliza un filtro mediano para eliminar ruido mientras se preservan los bordes.
3. Segmentación por umbral: Se aplica un umbral para distinguir la luz estructurada del fondo, aunque se ajusta para cada imagen.
4. Operaciones morfológicas: Se emplean para asegurar la continuidad de la luz estructurada, utilizando operaciones como cierre.
5. Suavizado de área: Se extrae la luz estructurada eliminando las salpicaduras.
6. Procesamiento de ROI: Se busca automáticamente el contorno de la ROI que incluye la luz estructurada para reducir la carga computacional.

Este enfoque permite una inspección más precisa y eficiente de las soldaduras, minimizando las detecciones erróneas causadas por variaciones en el proceso de soldadura. (Chu y Wang, 2015) [10].

La detección de defectos en tejidos implica identificar la ubicación, tipo y tamaño de los fallos en la superficie del material. Aunque la inspección humana permite correcciones rápidas, presenta limitaciones en precisión, consistencia y eficiencia debido a factores como el aburrimiento. Por ello, la automatización de la inspección se convierte en una solución eficiente para mejorar la calidad del tejido, permitiendo detecciones en tiempo real que pueden detener el proceso de producción al identificar un defecto.

#### Componentes del sistema de detección de defectos

1. Selección de cámaras: Se utilizan cámaras de escaneo de área y de escaneo en línea. Las cámaras de escaneo en línea son más rápidas y requieren sincronización con el movimiento del tejido, mientras que las de escaneo de área son adecuadas para tejidos estáticos.
2. Selección de lentes: La elección del lente es crucial, ya que afecta el área de visión y la claridad de la imagen, debiendo considerar distancia de trabajo y tamaño del sensor.

3. Selección de iluminación: Cuatro esquemas de iluminación se utilizan: frontal, trasero, fibra óptica y estructural. La iluminación trasera es especialmente útil para mejorar el contraste en tejidos semitransparentes.
4. Grabador de imágenes: Los grabadores son esenciales para transferir datos rápidamente entre la cámara y la unidad de procesamiento, especialmente en sistemas de alta velocidad donde es crucial evitar la pérdida de datos.

Estos componentes son fundamentales para implementar un sistema de inspección automático eficiente y preciso en la producción textil. (Hanbay y otros, 2016) [11].

En la Universidad de Ambato de Ecuador se implementó en el campo de la automatización un sistema de visión 2D donde se obtiene un objeto translúcido en una escena, destacando el interés principal del objeto está determinado por la imagen que se analiza, donde se pueden encontrar burbujas, arañazos e incrustaciones (Vargas, 2019) [12].

Mejorar las condiciones viales de una comunidad es el objetivo de aplicar la disciplina de la visión artificial. En definitiva, la utilización de la visión artificial como herramienta para la resolución de problemas.

Establecida después de varias décadas de desarrollo, la visión artificial ha mantenido una estrecha relación con el procesamiento de imágenes. A través de esto, se puede obtener información valiosa sobre el mundo.

En la Universidad de Aeronáutica y Astronáutica de Nanjing, la apariencia externa de los vehículos es crucial ya que define la primera impresión que los consumidores tienen del producto. Sin embargo, durante el proceso de fabricación y transporte de vehículos importados, pueden surgir defectos en la superficie, como arañazos o abolladuras, que generan grandes pérdidas económicas tanto para las agencias de importación de automóviles como para los compradores. Para enfrentar este problema, las agencias automotrices suelen contratar inspectores profesionales para realizar inspecciones manuales minuciosas de los vehículos importados,



detectando incluso defectos menores de hasta 0.5 mm de diámetro. Los vehículos con defectos son rechazados y enviados de vuelta a la fábrica para su reparación.

El procedimiento tradicional de inspección implica una muestra aleatoria de productos en la línea de producción, en la que los inspectores determinan la calidad observando visualmente las diferencias en la apariencia de la superficie del producto. Este método manual enfrenta varios problemas:

- **Subjetividad:** La evaluación depende de la percepción visual del inspector, lo que lleva a criterios de calidad no estandarizados.
- **Fatiga Visual:** La repetición intensa en la línea de ensamblaje puede causar fatiga ocular, reduciendo la fiabilidad de la detección de defectos y comprometiendo la calidad del producto.
- **Condiciones Ambientales:** La detección de defectos menos evidentes requiere condiciones externas como una iluminación adecuada, dificultando la identificación continua y estable de defectos, lo que reduce la eficiencia de producción.

Para superar estos problemas, los sistemas de inspección visual automática (AIS) han ganado popularidad gracias al desarrollo de procesadores de hardware programables y técnicas de procesamiento de imágenes. Los AIS se destacan por su rapidez, alta precisión, bajo costo y características no destructivas, mejorando así la productividad y gestión de calidad en las industrias.

#### Clasificación de Defectos de Superficie en Vehículos:

Los defectos en la superficie del vehículo se dividen principalmente en arañazos y abolladuras

- **Arañazos:** Ocurren cuando el vehículo se frota contra metal duro durante la carga o transporte.
- **Abolladuras:** Generalmente causadas por pequeñas piedras que golpean la superficie del vehículo a alta velocidad.

Estos defectos son difíciles de detectar tanto con sistemas automáticos como con la vista humana debido a varios factores:

- **Iluminación Desbalanceada:** La iluminación desigual en las imágenes de superficie del vehículo capturadas por cámaras con luces LED puede dificultar la detección de defectos.
- **Reflejo Especular:** La técnica de iluminación en campo oscuro puede mejorar el contraste, pero aun así pueden aparecer reflejos especulares en áreas específicas del vehículo.
- **Variaciones en Modos de Reflexión:** Los defectos en vehículos de diferentes colores tienen valores de gris distintos, complicando la detección con diferentes coeficientes de reflexión.
- **Características Limitadas:** Los defectos en la superficie tienen características diversas y, a menudo, son muy pequeños, lo que limita las técnicas de reconocimiento basadas en texturas y formas complejas.

Sistema de Inspección Visual Automática (AIS):

El AIS propuesto consta de dos subsistemas principales: adquisición de imágenes y procesamiento de imágenes.

1. Subsistema de Adquisición de Imágenes (IAS):

- Se realiza en un entorno cerrado para eliminar la influencia de la luz natural.
- Se utilizan cinco cámaras CCD montadas en guías deslizantes motorizadas para capturar imágenes del cuerpo del vehículo desde diferentes ángulos.
- Las imágenes se transmiten a una sala de control y análisis para la detección y clasificación.

2. Subsistema de Procesamiento de Imágenes:

- **Preprocesamiento de Imágenes:** Resalta las áreas defectuosas en el fondo de la imagen para mejorar la eficiencia y precisión de las siguientes etapas.
- **Binarización de Defectos:** Extrae áreas candidatas para defectos a partir de la imagen del vehículo, mejorando la tasa de detección de micro defectos.

- Extracción de Características y Clasificación: Clasifica los defectos y excluye defectos falsos generados por ruido, mejorando la precisión de la detección del AIS.

Cuando un nuevo vehículo está listo para la inspección, el inspector selecciona el tipo de vehículo en el software de detección. La base de datos proporciona toda la información necesaria (modelo, color, plantilla, etc.). El proceso de detección de defectos incluye la obtención de una matriz de transformación espacial, la interpolación de la máscara de la plantilla, y la detección final de áreas defectuosas, que se marcan en la imagen del vehículo. (Zhou y otros, 2019) [13].

La detección de fallas por rayos X es una tecnología común en la inspección de costuras de soldadura, especialmente en piezas de metal gruesas como tuberías de acero. Sin embargo, no es adecuada para canisters metálicos delgados, ya que en estos se utiliza soldadura por resistencia eléctrica y los defectos son generalmente visibles sin necesidad de rayos X. Para abordar esto, se propone un algoritmo de sustracción de fondo que detecta defectos mediante la diferencia entre las áreas de soldadura y el fondo. Este método implica construir un modelo de fondo utilizando secuencias de imágenes, restar este modelo para extraer características de los defectos, y actualizar el modelo según sea necesario. Sin embargo, las variaciones en el entorno de producción pueden causar detecciones erróneas, las cuales son discutidas en el texto. (Sun y otros, 2019) [14].

La visión por computadora y los modelos de clasificación de imágenes se aplican en diversos sectores, incluyendo la industria textil, donde la tela es un componente esencial. A pesar de que la inspección manual ha sido tradicionalmente utilizada para detectar defectos en tejidos, este método tiene varias desventajas, como la posible omisión de pequeños defectos y la necesidad de entrenamiento. La inspección automatizada mejora la eficiencia y precisión en la detección de fallos, siendo crucial para el control de calidad.

Existen diferentes enfoques para la detección de defectos en tejidos:

1. Enfoques Basados en Histogramas: Utilizan la estadística de niveles de gris en las imágenes, aunque son menos efectivos para defectos pequeños.
2. Enfoques Basados en Color: La extracción de características de color ha mostrado ser útil, aunque la detección sigue siendo un desafío en texturas complejas.
3. Enfoques de Segmentación: Dividen la imagen en subregiones para mejorar la identificación de defectos, aunque son computacionalmente costosos.
4. Enfoques de Aprendizaje de Diccionario: Utilizan bloques de imagen para construir un diccionario de características, mostrando buenos resultados en la detección.
5. Enfoques Basados en Textura: Analizan el contenido textural de las imágenes, siendo aplicados en sistemas integrados para evaluar la apariencia de la superficie de los hilos.
6. Operaciones en el Dominio de Frecuencia: Usan transformaciones como la FFT para investigar la calidad de la tela.
7. Enfoques Morfológicos: Se centran en las formas y estructuras dentro de las imágenes para detectar defectos.
8. Enfoques de Aprendizaje Profundo: Redes neuronales profundas, como las redes convolucionales, han revolucionado la detección de defectos al aprender de ejemplos previos.

La evaluación del rendimiento en la detección de defectos se mide a través de métricas como sensibilidad, especificidad y tasa de éxito en la detección, aunque no existe un estándar universal para la evaluación. (Rasheed y otros, 2020) [15].

La detección y clasificación de defectos son problemas únicos en el ámbito de la visión artificial, donde se busca imitar la visión y decisiones humanas a través de técnicas digitales. El control de calidad es fundamental en la producción industrial, empleando métodos destructivos y no destructivos para identificar defectos sin dañar los componentes. Existen diversas técnicas no destructivas, como la inspección visual y la termografía, que son esenciales, especialmente en la industria aeronáutica. La descripción y categorización de un defecto son subjetivas y dependen de la precisión

requerida, lo que hace crucial establecer estándares de calidad antes de implementar sistemas automáticos. Además, la clasificación efectiva requiere bases de datos bien estructuradas de defectos, lo cual es un reto debido a la variabilidad de los defectos en diferentes escenarios operativos. (Czimmermann y otros, 2020) [16].

El sistema AIS propuesto mejora significativamente la detección de defectos en la superficie de los vehículos al integrar técnicas avanzadas de adquisición y procesamiento de imágenes, abordando las limitaciones del método de inspección manual y aumentando la eficiencia y precisión en la detección de defectos.

En la Universidad de Ciencia y Tecnología de Huazhong, Wuhan, la manufactura está evolucionando hacia la inteligencia, la automatización y la digitalización debido a los avances en tecnologías industriales. Este progreso no solo mejora la eficiencia de producción, sino que también presenta nuevos desafíos, siendo uno de los más significativos el control de calidad de productos. La tendencia actual en la inteligencia industrial es la inspección completa de productos, que busca reducir pérdidas innecesarias y mejorar la calidad. Con la amplia aplicación de sensores, la recolección de datos para la calidad del producto se ha abordado con éxito, lo que facilita la realización de inspecciones completas. No obstante, la implementación efectiva de la inspección completa enfrenta varios retos, entre ellos, el reconocimiento preciso y eficaz de defectos.

Tradicionalmente, el reconocimiento de defectos se realiza de manera manual, lo cual es ineficiente para satisfacer las demandas de la inteligencia industrial. En contraste, el reconocimiento de defectos basado en visión implica identificar defectos en imágenes mediante procesos como el preprocesamiento de datos, extracción de características y reconocimiento. Este proceso incluye clasificación de tipos de defectos, segmentación de áreas defectuosas, detección de ubicación de defectos y coincidencia con plantillas similares.

Existen varias metodologías para el reconocimiento de defectos:

1. **Métodos Basados en Características Diseñadas:** Utilizan operadores explícitos para extraer características de imágenes de defectos y clasificarlas con

métodos simples. Estos métodos, que se basan en el conocimiento experto, se dividen en:

- **Métodos Estadísticos:** Analizan la distribución espacial de los valores de los píxeles utilizando histogramas, matrices de coocurrencia y patrones binarios locales (LBP).
- **Métodos Estructurales:** Caracterizan defectos mediante elementos de textura y modelan las reglas de colocación espacial de estos elementos, siendo la morfología una técnica común.
- **Métodos Basados en Filtros:** Aplican bancos de filtros a imágenes de defectos para calcular la energía de las respuestas de los filtros, utilizando operadores como Sobel, Canny y Gabor, entre otros.
- **Métodos Basados en Modelos:** Tratan los defectos como muestras de distribuciones de probabilidad paramétricas y utilizan pruebas de hipótesis estadísticas para la detección de defectos, siendo útiles para defectos con variaciones estocásticas.

2. **Métodos Basados en Características Aprendidas:** Estos métodos, que se fundamentan principalmente en el aprendizaje profundo (DL), extraen características y la información útil de manera automática, evitando el diseño explícito de características. Entre los modelos más destacados se encuentra el autoencoder, que incluye variantes como redes neuronales de creencias profundas (DBNN), autoencoders de denoising y autoencoders convolucionales (CAE).

**Perspectivas de Datos:**

- **Desafíos en la Construcción de Conjuntos de Datos:** La recopilación de imágenes de defectos puede ser costosa y lenta, especialmente para defectos raros. Además, el procesamiento manual y la anotación de imágenes son procesos laboriosos y requieren conocimientos especializados.

**Perspectivas de Modelos:**

- **Desafíos en Métodos Basados en Características Aprendidas:** Estos métodos a menudo carecen de directrices basadas en el conocimiento, tienen una

baja interpretabilidad y requieren modelos a gran escala que pueden ralentizar el reconocimiento y aumentar las necesidades de hardware.

Perspectivas de Aplicación:

- **Desafíos en la Implementación Real:** Los modelos de reconocimiento de defectos pueden ser demasiado grandes para el reconocimiento en tiempo real y enfrentar problemas con imágenes de baja calidad en entornos de producción complejos. Además, muchos métodos solo procesan datos de una sola fuente, mientras que el uso de datos de múltiples fuentes podría mejorar los resultados del reconocimiento. (Gao y otros, 2021) [17].

En el departamento de ciencias de la información en China los métodos tradicionales de detección de defectos en superficies industriales basados en visión por computadora desde el nivel de extracción de características. Los métodos se dividen en tres categorías principales: basados en características de textura, de color y de forma.

1. Método Basado en Características de Textura:

- Las características de textura reflejan la homogeneidad de una imagen y describen la estructura y disposición de la superficie a través de la distribución de gris de los píxeles y sus vecinos cercanos.
- Se subdividen en: métodos estadísticos, de procesamiento de señales, estructurales y de modelos.

2. Método Basado en Características de Color:

- Las características de color son robustas, tienen bajo volumen de cálculo y no dependen mucho del tamaño, dirección ni ángulo de visión de la imagen. Incluye:
  - **Histogramas de Color:** Muestran la proporción de colores en la imagen sin considerar la posición espacial. Son insensibles a transformaciones físicas, pero pueden mostrar picos dobles si hay áreas con distribuciones de color muy diferentes.

- Momentos de Color: Representan la distribución del color mediante momentos de diferentes órdenes. Generalmente, se utilizan momentos de primer (media), segundo (varianza) y tercer orden (desviación) para describir el color.
- Vector de Coherencia de Color: Mejora el histograma de color al dividir cada grupo de color en partes de agregación y no agregación, y comparar la similitud en estas categorías para obtener un valor similar.
- Otros métodos de características de color utilizados incluyen conjuntos de color y mapas de correlación de color. Los conjuntos de color son una aproximación del histograma de color expresada como un vector binario, permitiendo acelerar la velocidad de búsqueda mediante árboles binarios.

Los métodos tradicionales para la detección de defectos en superficies se basan en características de textura, color y forma, cada uno con sus propias técnicas y aplicaciones específicas. (Chen, Ding y otros, 2021) [18].

Los sistemas industriales avanzados requieren un mejor rendimiento del producto y un control de calidad más efectivo. Los defectos en la superficie, como rayones o manchas, afectan tanto la estética como el rendimiento del producto, por lo que la detección de defectos es crucial. La inspección visual artificial, aunque tradicionalmente utilizada, es ineficiente y propensa a errores. La visión por máquina ha surgido como una solución eficaz, permitiendo la captura y procesamiento automático de imágenes. La calidad de estas imágenes depende de la iluminación óptica y de la adquisición de imágenes. Se describen diferentes modos de iluminación, como la iluminación directa y estructurada, así como técnicas de adquisición de imágenes que incluyen visión omnidireccional y microvisión. El procesamiento de imágenes es fundamental para eliminar ruido y clasificar defectos, mejorando así la eficiencia en la detección de imperfecciones en los productos industriales. (Ren y otros, 2021) [19].

La detección de defectos en la superficie del acero, fundamental para diversas industrias como la automotriz y la construcción naval. Los defectos pueden surgir por diferentes factores durante la fabricación y afectan negativamente la apariencia y propiedades del acero. Desde la década de 1980, se han empleado métodos de visión



por computadora para la inspección de estos defectos, con un aumento en su aplicación desde los años 90.

#### Componentes del sistema de detección de defectos

1. Adquisición de imágenes: Incluye unidades de luz, cámaras (de escaneo en línea y de área) y lentes. Las cámaras de escaneo en línea son más adecuadas para objetos en movimiento, mientras que las de área se utilizan para imágenes estáticas.
2. Fuentes de luz: Se utilizan varias fuentes de iluminación, como fluorescentes y LEDs, para asegurar una iluminación uniforme, lo cual es crucial para la calidad de la imagen.
3. Métodos de imagen: Se emplean principalmente imágenes de intensidad (en escala de grises) y, en ocasiones, imágenes de rango para detectar características 3D de los defectos.

#### Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes incluye varias etapas:

- Preprocesamiento: Mejora la calidad de las imágenes y reduce el ruido.
- Detección de región de interés (ROI): Identifica áreas sospechosas de defectos en tiempo real.
- Segmentación de imágenes: Separa los defectos del fondo para extraer características.
- Clasificación de defectos: Utiliza métodos de aprendizaje automático, incluyendo clasificaciones no supervisadas, semisupervisadas y supervisadas.

Los conjuntos de datos, como NEU-DET, son cruciales para entrenar modelos de detección, proporcionando imágenes anotadas de defectos típicos del acero.

La automatización en la detección de defectos en acero a través de sistemas de visión por computadora está mejorando significativamente la precisión y eficiencia en la

producción, minimizando errores y mejorando la calidad del producto final. (Tang y otros, 2022) [20].

## 2.1 Planteamiento del problema.

Al principio del arranque de la producción en la planta KIA México en el 2016 se ha comprometido por obtener la mejor calidad posible dentro de sus vehículos manufacturados, esta misma se ha visto afectada por la rotación del personal, la pérdida de comunicación e información entre departamentos, provocando un problema en la trazabilidad de los defectos históricos y nuevos casos.

Se han realizado algunos intentos efectivos de seguir mejorando la trazabilidad de los defectos con el surgimiento de nuevas metodologías y tecnologías que facilitan la realización de la inspección en diferentes puntos internos, ya sean puntos de seguridad, o con la perspectiva del cliente, dentro de las unidades manufacturadas.

Una de las mejoras de implementación de nuevas metodologías y tecnologías para facilitar la inspección ha sido el cambio de la lectura de los torques haciendo el cambio de un torquímetro manual por uno digital conectado a una Tablet donde se descargarán los datos en tiempo real generando al mismo tiempo el reporte a presentar (Figura 7).

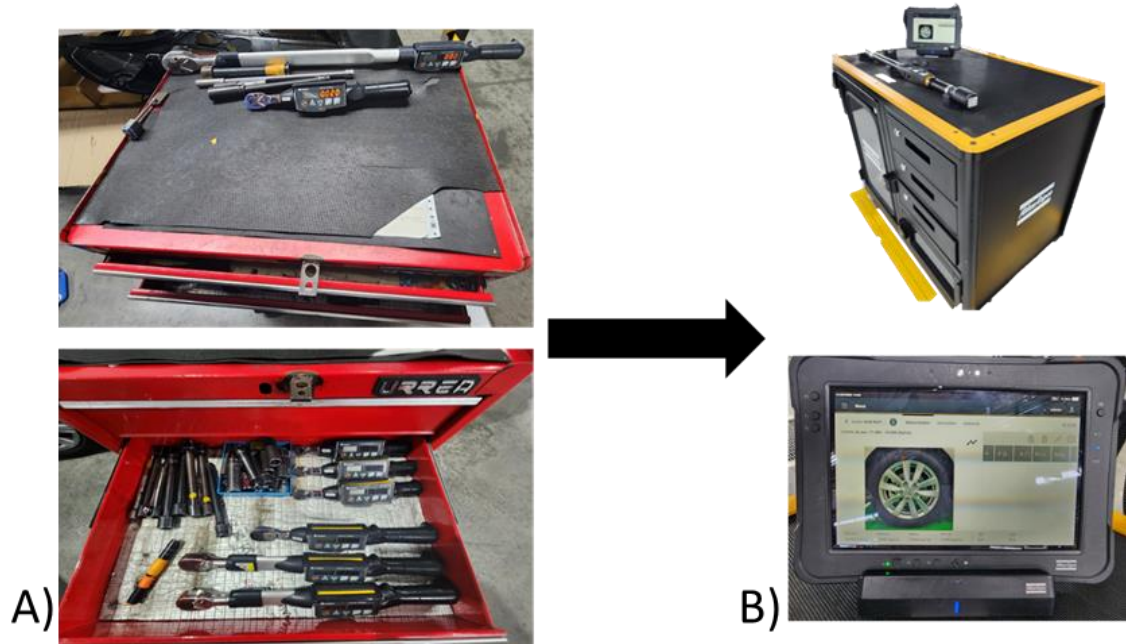


Figura 7. Modificación en medición de torques. A) Torquímetros manuales y B) Torquímetros Digitales (Elaboración propia).

Otra de las nuevas implementaciones es el desarrollo de páginas web en las que los operadores hacen sus validaciones del correcto ensamble o funcionamiento con referencia a la unidad que están evaluando en el momento (Figura 8), en caso contrario que saliera algún defecto, el sistema está dividido por cada área, así como las partes que revisan y los defectos más frecuentes que se han presentado.



A)



B)

Figura 8. Implementación de página WEB. A) Vista lateral de la computadora y B) Vista frontal de la computadora y la página web (Elaboración propia).

Se ha demostrado que cuando la calidad de los vehículos disminuye afecta negativamente en las ventas; cuando un cliente adquiere una unidad se le realizan encuestas de satisfacción a los 3 y 36 meses desde su adquisición, los resultados y observaciones negativos afectan directamente en los indicadores internos de cada marca y, por consiguiente, se reduce el puntaje dentro de la competencia por el J.D. Power.

Cuando las unidades carecen de calidad, es inevitable que las marcas en el mercado en que se compite tomen ventaja, a la vez esto llevaría a una erosión en la confianza del consumidor y la fiabilidad que las unidades han generado a través de los años.

Identificar los factores más puntuales que afectan directamente los indicadores de calidad tanto internos, FTTQ (por sus siglas en inglés, First Time To Quality) y Sign

Off (Liberación de unidades), como externos evaluados por expertos en la industria, también se realizarán experimentos para medir la efectividad de las diferentes estrategias.

## 2.2 Hipótesis.

Implementar la cabina con las cámaras para digitar la condición en que salen los vehículos de la fábrica, es posible determinar la causa del daño que pudiera sufrir un vehículo y quien sería el responsable de las reparaciones de los defectos causados durante la transportación desde la planta hasta las manos del cliente.

## 2.3 Objetivos.

### 2.3.1 Objetivo General:

- ✓ Desarrollar una metodología para la detección de los defectos superficiales exteriores en relación con la pintura o incorrectos ensambles en vehículos de combustión interna aplicando la digitalización y trazabilidad para encontrar la causa raíz.

### 2.3.2 Objetivos Específicos:

Se proponen los siguientes objetivos específicos para el cumplimiento del objetivo general:

- ✓ Diseñar, seleccionar e implementar un sistema de captura de imágenes por medio de las cámaras del sistema de visión.
- ✓ Determinar con precisión el radio de acción del sistema de visión implementado.
- ✓ Confirmar la liberación de unidades en base a la hoja de inspección contra las imágenes capturadas.
- ✓ Prevenir la fuga de defectos a la empresa encargada de la logística.

# Capítulo 3

## Metodología

Para la realización del sistema de visión artificial, es necesario considerar los siguientes puntos para una implementación exitosa.

### 1. Ubicación.

El espacio designado donde se llevó a cabo la inspección de los vehículos es en la salida de las banda transportadora de la línea de FIL<sup>2</sup>, en la última cortina antes de que las unidades pasen a estar en el patio listos para su embarque, es decir solo se cuenta con el espacio para una cabina para 2 líneas de producción (Figura 9).



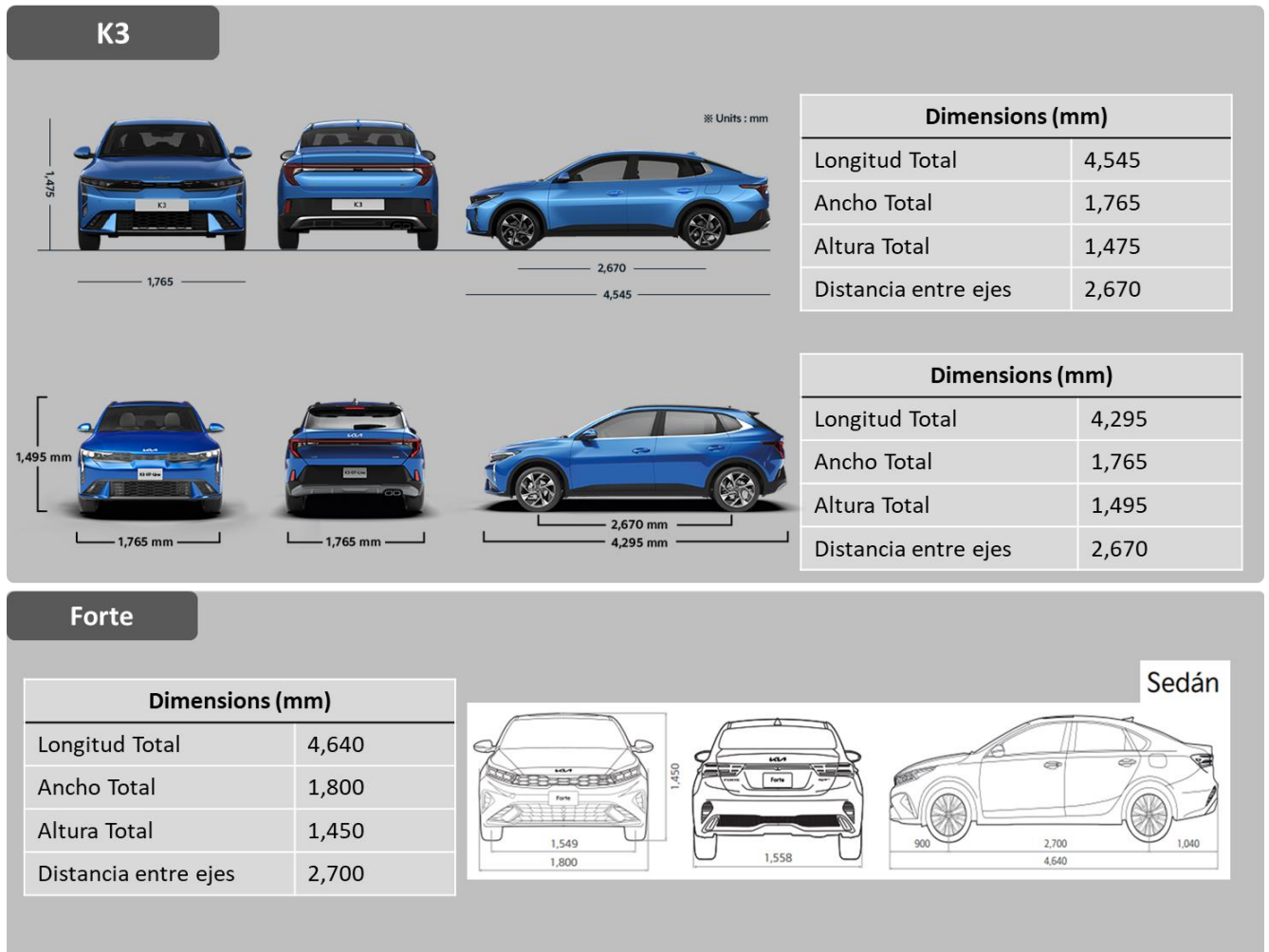
*Figura 9. Ubicación designada. A) Banda Transportadora de la línea de inspección final y B) Espacio designado para la cabina (Elaboración propia).*

### 2. Dimensiones

---

<sup>2</sup> La línea de FIL o FINAL es el nombre de la línea en donde se realizan las ultimas inspecciones antes de ser liberadas por parte de la ensambladora KIA.

Las dimensiones de los modelos juegan un reto muy importante para la definición de este proyecto ya que es necesario considerar que los 2 modelos producidos (Rio y Forte) cuentan con tamaños diferentes (Figura 10), por lo que se tomaría un promedio de dimensiones para tener las mismas imágenes en todos los modelos y considerar los futuros modelos.



### 3. Las condiciones climatológicas.

3.1. Las condiciones climatológicas juegan un papel muy importante en la salida de la cortina con dirección al patio donde son recogidas las unidades; lo más importante a considerar es la luz exterior (Sol o Luna) la cual afecta directamente en el reflejo de las imágenes capturadas conforme pasen las horas y posicionamiento del Sol, además de la lluvia, polvo y aire.

### 4. Iluminación.

4.1. Controlar la iluminación juega importante con los resultados de las fotografías realizadas, esto debido a los defectos que se desean detectar, ya que el mínimo defecto es de 2 milímetros, por ejemplo, puede ser un rasguño o una abolladura en la parte de la pintura, se realizaron pruebas para visualizar cual sería la afectación con la luz ambiental iniciando con una cámara monocromática o blanco y negro de 12MP, en la misma posición y en diferentes tiempos horarios (Figura 11).

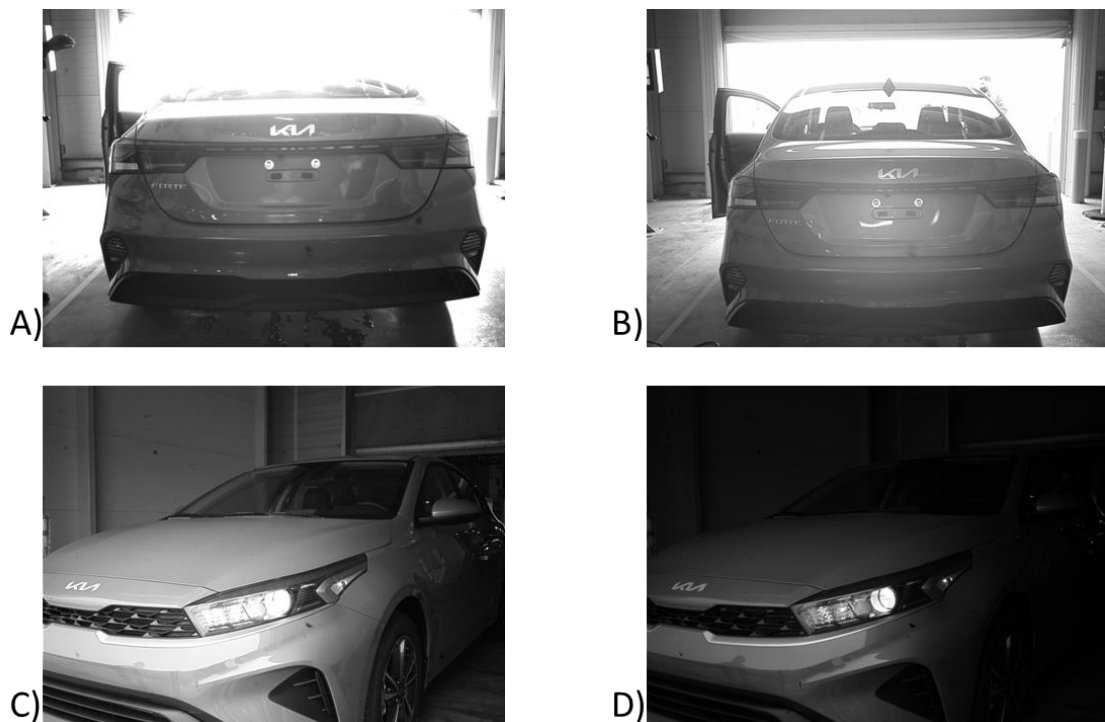
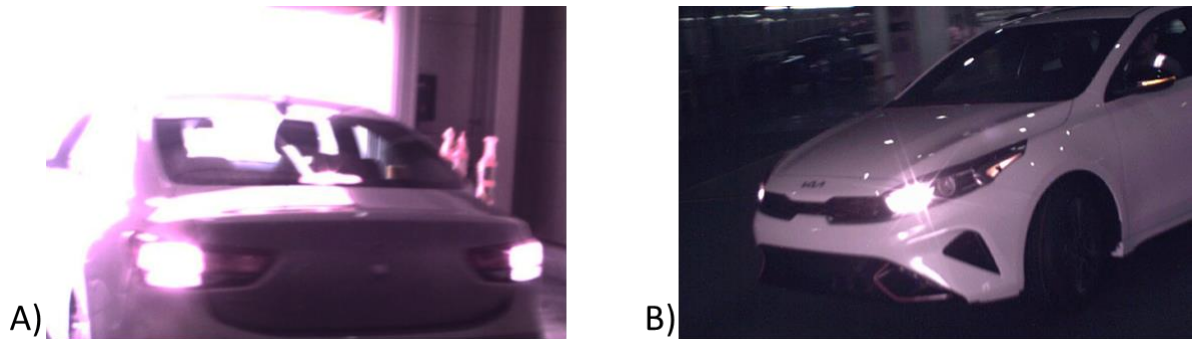


Figura 11. Prueba de cámara monocromática de 12 MP. A) Prueba realizada con alta exposición de luz, B) Segunda prueba con ajuste con la iluminación, C) Prueba por la parte frontal con alta exposición de luz, D) Prueba realizando balanceo de exposición (Elaboración propia).



La misma prueba se realizó con una cámara a color de 12 MP (Figura 12).



*Figura 12. Prueba de cámara a color de 12 MP. A) Prueba realizada por la parte trasera, B) Prueba realizada por la parte delantera (Elaboración propia).*

## 5. Cabina de Inspección.

5.1. Es necesario la fabricación e instalación de una cabina para poder tener el control de los factores que pudieran afectar a la resolución y calidad de las imágenes, en su interior se colocarán estratégicamente las cámaras (Figura 13).



*Figura 13. Primer render de la cabina de inspección (Elaboración propia).*

## 6. Puntos por inspeccionar.

6.1. En el plan del proyecto se contemplan utilizar 8 cámaras que estarán situadas estratégicamente para la captura de imágenes y visualizar los siguientes puntos.

- Cámara #1 (Vista Frontal). - Se busca la visualización de las siguientes partes (Figura 14):
  - Condición del cofre.
  - Condiciones de las luces delanteras.
  - Condición del logo KIA y GT (Logo GT únicamente en Forte GT).
  - Condiciones de las parillas superior e inferior.
  - Condición de la defensa delantera.



Figura 14. Posicionamiento de la cámara #1 (Elaboración propia).

- Cámara #2 y #8 (Vista Lateral). - Se busca la visualización de las siguientes partes (Figura 15):

- Condición de la unión de la defensa delantera con el panel.
- Condición de la llanta del pasajero.
- Luces direccionales (algunos mercados).
- Condición del espejo retrovisor.
- Condición de la abertura de la puerta con el panel.
- Condición del marco de la ventana de la puerta delantera.

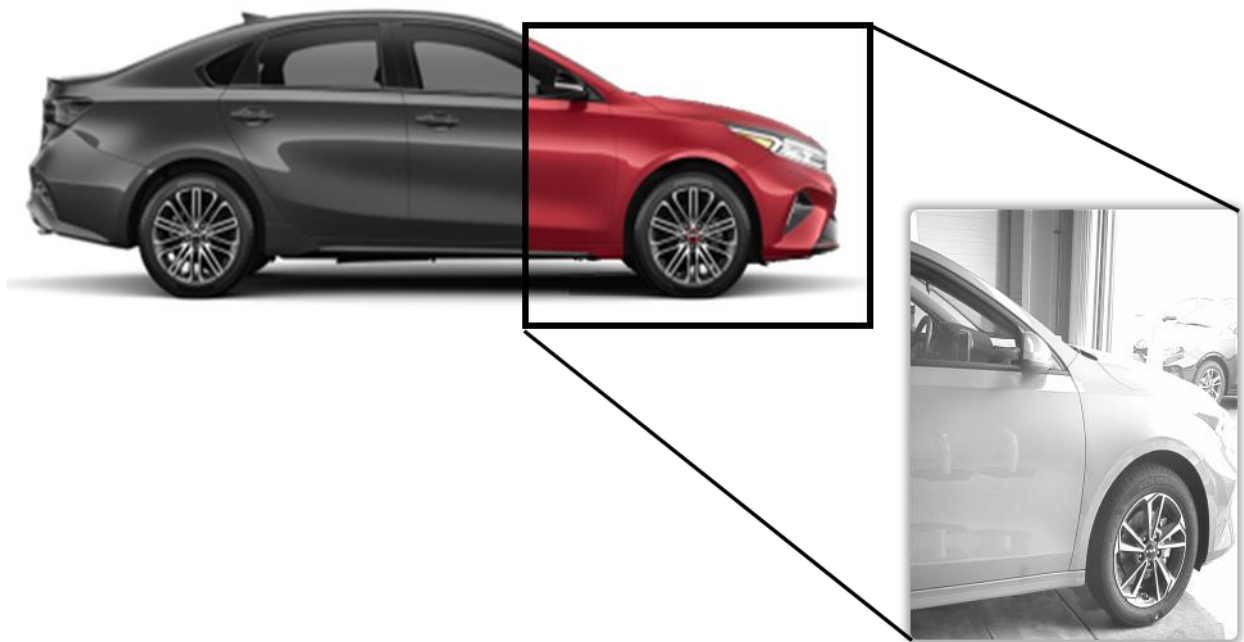
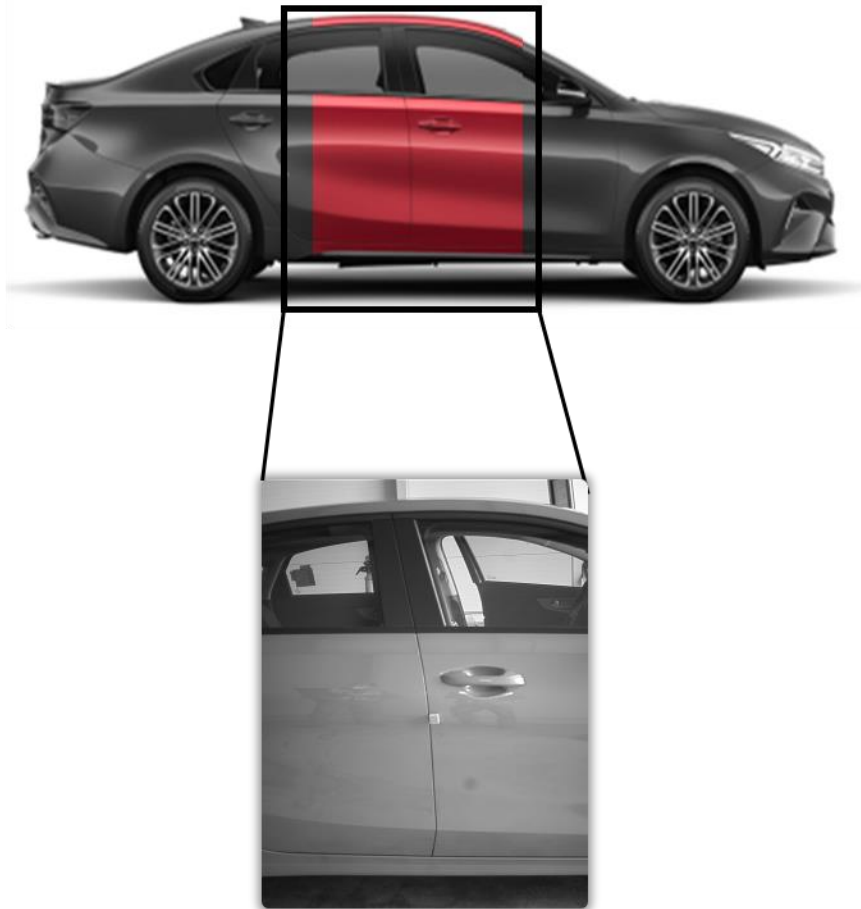


Figura 15. Posicionamiento de las cámaras #2 (Lado Izquierdo) y #8 (Lado Derecha) (Elaboración propia).

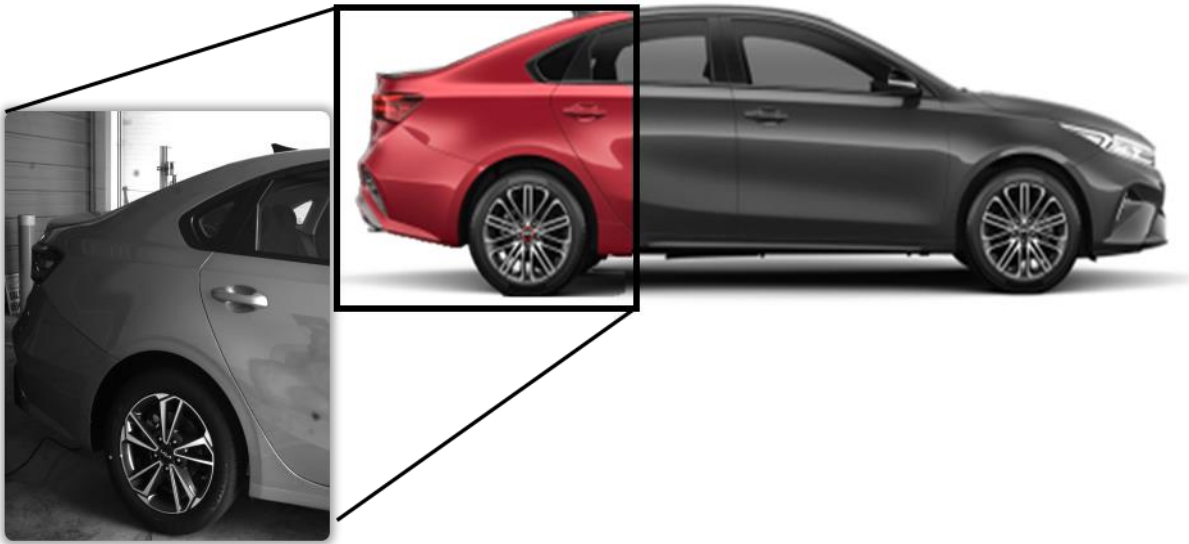
- Cámara #3 y #7 (Vista Lateral). - Se busca la visualización de las siguientes partes (Figura 16):

- Condición de los marcos de las ventanas en las puertas.
- Condición de la manija exterior de la puerta delantera.
- Condición de la abertura entre puertas.



*Figura 16. Posicionamiento de las cámaras #3 (Lado Izquierdo) y #7 (Lado Derecho) (Elaboración propia).*

- Cámara #4 y #6 (Vista Lateral). – El objetivo es la visualización de las siguientes partes (Figura 17):
  - Condición de la manija exterior de la puerta trasera.
  - Condición de la llanta trasera.
  - Condición del marco de la ventana de la puerta trasera.
  - Condición de la abertura entre la puerta y el panel traseros.
  - Condición de la abertura de la defensa y el panel traseros.



*Figura 17. Posicionamiento de las cámaras #4 (Lado Izquierdo) y #6 (Lado Derecho) (Elaboración propia).*

- Cámara #5 (Vista Trasera). - El objetivo es la visualización de las siguientes partes (Figura 18):
  - Condición de la antena.
  - Condición de las luces traseras.
  - Condición del logo KIA, GT Line y GT (Logo GT Line y GT únicamente en Forte GT Line y GT).
  - Condición de la defensa trasera.
  - Condición del escape de gases.



Figura 18. Posicionamiento de la cámara #5 (Elaboración propia).

## 7. Pruebas.

7.1. Se realizaron diferentes pruebas con 4 tipos de cámaras de 3 marcas en competencia:

- Cognex (Cámaras monocromáticas)
- Brinon (Cámaras a color)
- Keyence (Cámaras a color de 21 y 64 MP)

7.2. Donde lo importante es la visualización de las imágenes para la apreciación de los defectos con tamaño de hasta 2 mm.

- Cámara de 12 Megapíxeles monocromática, fue la primera prueba considerando las diferentes tonalidades de colores, siendo esto una dificultad al momento de revisar los resultados por el tipo de reflejo que pudiera presentarse (Figura 19).

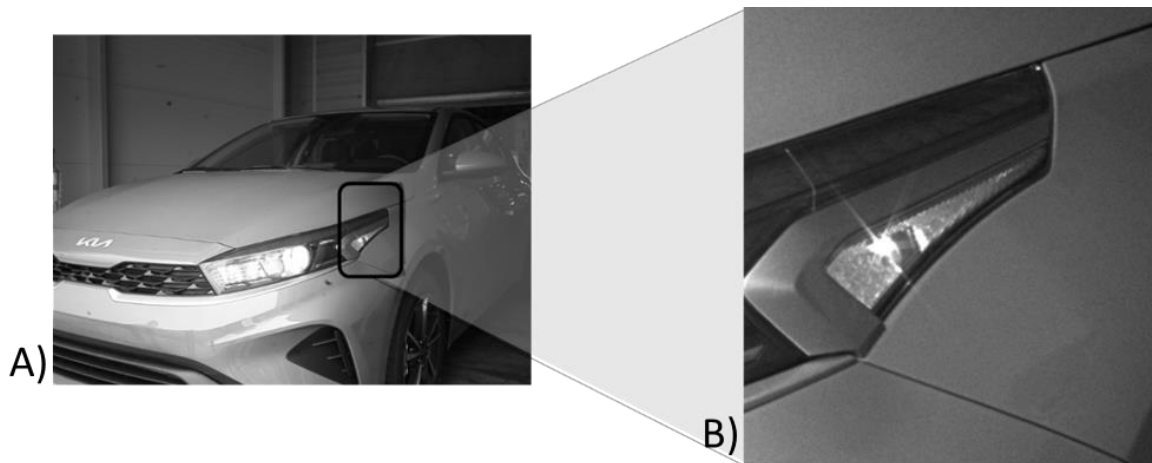


Figura 19. Comparación de calidad de imagen con respecto al acercamiento en cámara monocromática de 12 MP. A) Foto Original, B) Foto aplicando zoom (Elaboración propia).

- Cámara de 12 Megapíxeles a color, siendo esta la segunda prueba para la comprobación del reflejo con las diferentes tonalidades en los colores, obteniendo un resultado con una buena calidad en la imagen original, pero al momento de realizar un acercamiento esta misma empieza a perderse dentro de sus píxeles (Figura 20).

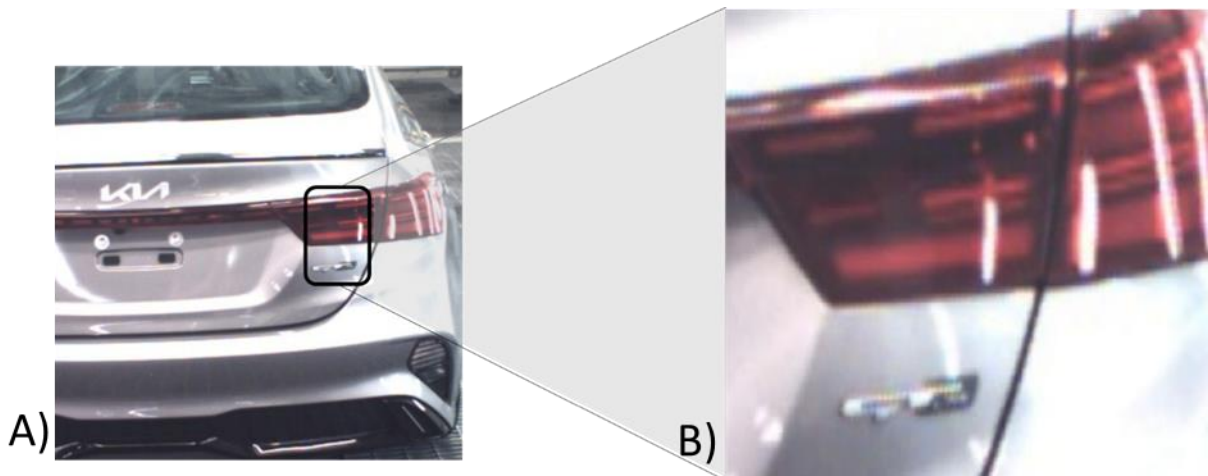


Figura 20. Comparación de calidad de imagen con respecto al acercamiento en cámara a color de 12 MP. A) Foto Original, B) Foto aplicando zoom (Elaboración propia).

- Cámara de 21 Megapíxeles a color incrementando la cantidad de MP para una mejor resolución a la hora de revisar las imágenes capturadas (Figura 21).

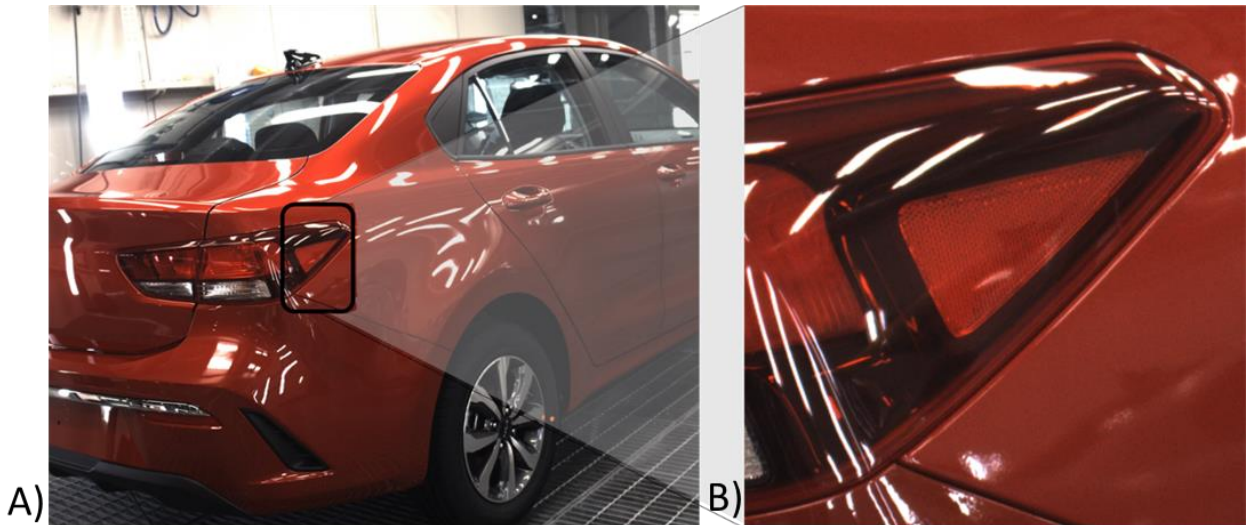


Figura 21. Comparación de calidad de imagen con respecto al acercamiento en cámara a color de 21 MP.  
 A) Foto Original, B) Foto aplicando zoom (Elaboración propia).

- Cámara de 64 Megapíxeles a color igualmente se incrementa al triple la cantidad de MP para un mejor resultado al momento de realizar un acercamiento dentro de la imagen original, utilizando la mejor cámara en el mercado (Figura 22).

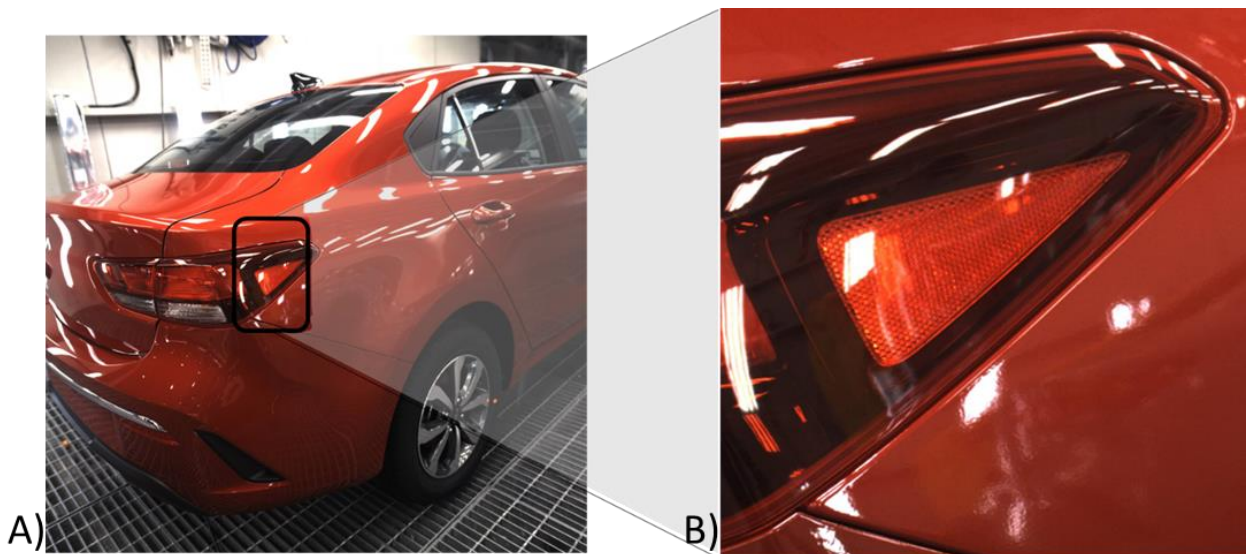



Figura 22. Comparación de calidad de imagen con respecto al acercamiento en cámara a color de 64 MP  
 (Elaboración propia).



Las Tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, muestran las especificaciones de la cámara, del lente, de las lámparas Led, controlador, memoria interna del controlador y cable de iluminación respectivamente.

*Tabla 1. Especificaciones de la cámara*

<b>Imagen</b>	<b>Modelo:</b>	<b>CA-HF6400C</b>
	Marca:	Keyence
	Elemento de imagen:	CMOS a color Lectura de alta velocidad de 88x
	Tamaño de la imagen:	Modo de 64 Megapíxeles Modo de 41 Megapíxeles Modo de 21 Megapíxeles
	Sistema de Transferencia	Transferencia Serial Digital
	Cantidad a utilizar	8

*Tabla 2. Especificaciones del lente*


<b>Imagen</b>	<b>Modelo:</b>	<b>CA-LHT18</b>
	Marca:	Keyence
	Punto Focal:	18 mm
	Distorsión de TV	1.25%
	Capacidad de resolución	160 ciclos/mm en el centro
	Cantidad a utilizar	8

Tabla 3. Especificaciones de las lámparas LED


Imagen	Modelo:	CA-DBW50H
	Marca:	Keyence
	Tipo:	Luces de barra de gran tamaño y alta intensidad
	Color del LED	Blanco
	Consumo de energía	19.8 Watts
	Cantidad a utilizar	4

Tabla 4. Especificaciones del controlador


Imagen	Modelo:	CV-X490F
	Marca:	Keyence
	Procesador de imágenes	14 núcleos
	Numero máximo de cámaras conectables	4
	Cantidad a utilizar	2

Tabla 5. Especificaciones de la memoria externa


Imagen	Modelo:	CA-SD16G
	Marca:	Keyence
	Capacidad de almacenamiento	16 GB
	Cantidad a utilizar	2

Tabla 6. Especificaciones de cable de iluminación

Imagen	Modelo:	CA-D5X
	Marca:	Keyence
	Longitud	5 mts
	Cantidad a utilizar	8

## 8. Almacenamiento.

8.1. Las imágenes serán guardadas en el servidor interno en formato .JPG, cada fotografía en este tipo de formato tendrá un peso aproximado de 8.7 MB, y con una producción promedio de 2,000 vehículos por día, lo cual es equivalente a 50.808 TB de información para almacenar por 1 año.

## 9. Arquitectura de visualización.

9.1. El control principal lo realizará un PLC de la serie compactlogix, leerán los sensores situados en la entrada de la cabina de inspección mismo que dará el gatillo para la toma de fotografías, luego se configuran los procesadores del sistema de visión para guardar las fotos en el servidor, al que se podrá acceder

a través de la aplicación web escribiendo el número de serie del vehículo en el buscador (Figura 23).

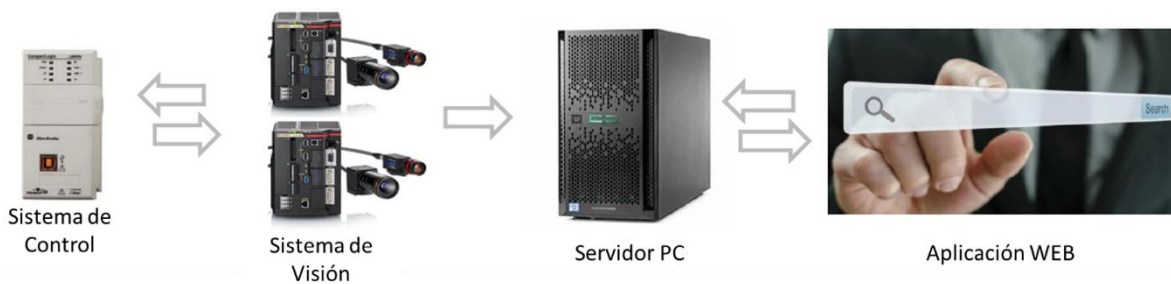


Figura 23. Visualización de los resultados (Elaboración propia).

# Capítulo 4

## Pruebas y resultados

### 4.1 Distribución de la cabina de inspección

La cabina de inspección fue construida con una estructura principal de perfil tubular rectangular (PTR) de acero, como recubrimiento en el interior de la cabina fue utilizado panel de cemento (Durock) y por la parte exterior se instalaron paneles de yeso (Tablaroca) anti-moho, entre los paneles interior y exterior están siendo sostenidos por perfiles de perfirey, la parte superior exterior de la cabina está cubierta de lámina galvanizada para evitar la filtración de humedad.

En el interior de la cabina la distribución de la cabina fue la propuesta al inicio del proyecto con 8 cámaras de 64 MP a color con sus respectivas lámparas led para la iluminación.

### 4.2 Ajuste de posicionamiento de las cámaras

Durante la primera prueba de captura de imágenes con un vehículo piloto fueron fundamentales para el ajuste de parámetros de las cámaras en cuestión del enfoque y posicionamiento de las cámaras.

Dentro de la cabina se colocaron 2 bases por estación para el posicionamiento de las cámaras y las lámparas led, dejando así en la base con mayor altura se colocó la luminaria y en la base inferior fue ubicada la cámara (Figura 24).



*Figura 24. Primer posicionamiento de cámara y lampara led (Elaboración propia).*

Como resultado de la primera prueba (Figura 25) está colocada la cámara # 6 donde su rango de visión estaría situado en la parte trasera lado derecho del vehículo dando, así como resultado una imagen en tono amarillo con alta sensibilidad a la entrada de luz dentro de toda la cámara en toda la imagen, así como también se puede observar la cámara # 5 y su lampara led, obteniendo así una mala calidad de imagen.



*Figura 25. Fotografía cámara #6 (Elaboración propia).*

Por otra parte, en la misma prueba en la cámara # 4 el resultado mostrado (Figura 26) con la misma configuración al resultado de la cámara # 6 podemos apreciar una imagen en tono amarillo y una alta sensibilidad a la luz teniendo como diferencia en el resultado una imagen no centrada en punto principal de enfoque.



*Figura 26. Fotografía cámara #4 (Elaboración propia).*

Derivado de la primera prueba se consideró intercambiar las bases dando así una nueva área quedando de la manera en que la base con mayor altura se colocó la cámara y en la base de menor altura se ubicó la lámpara led (Figura 27), teniendo un mejor resultado al momento de realizar las pruebas (Figura 28).





*Figura 27. Segundo posicionamiento de cámara y lampara led (Elaboración propia).*



*Figura 28. Resultado de captura derivado del cambio de posiciones entre cámara y lampara (Elaboración propia).*

### 4.3 Saturación de luz exterior

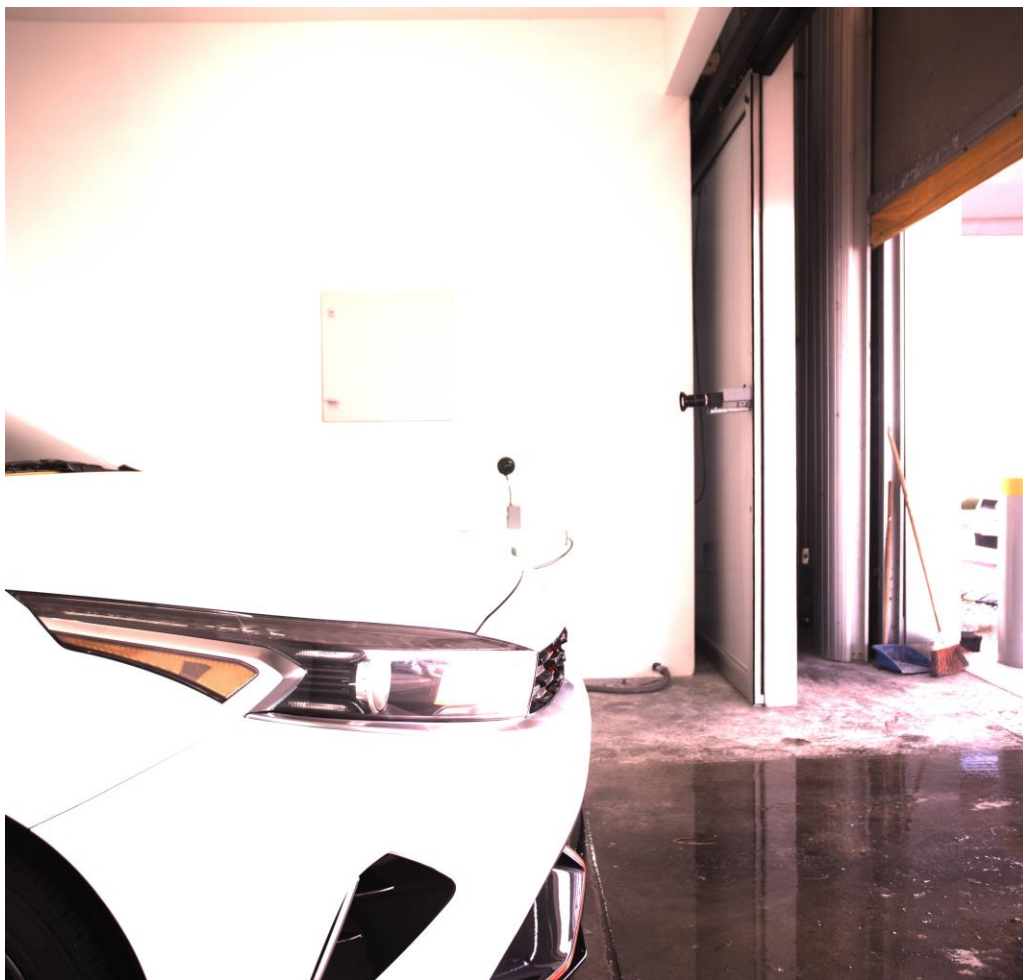
En el segundo día de pruebas contemplando los resultados de la primera prueba donde se puede apreciar un tono amarillo en la calidad de la imagen a pesar de contar con la cabina y la iluminaria en color blanco, se encontraron otros tipos de factores que influyen mucho en la captura de las imágenes, por ejemplo:

- Velocidad de obturación.
- Sensibilidad a la luz.

- Enfoque del lente.
- Dirección de las lámparas led.

Durante las segundas pruebas, una vez considerado los puntos anteriores fue necesario el minucioso manejo de los lentes, enfoques en las cámaras y el control de la iluminación externa al sistema.

En los primeros movimientos se empezó a tener problemas con la programación de las puertas utilizando como software el KV Studio (Software para programación por parte de Keyence) donde en la programación de tipo de cascada, un apartado no cumplía con su función ciclo de apertura y de cierre para el cerrado hermético para poder realizar la captura de las imágenes (Figura 29), teniendo una afectación por la intrusión de luz exterior.



*Figura 29. Prueba realizada con problemas en las puertas (Elaboración propia).*

Después de revisar la programación por la afectación en las puertas, se procedió con los ajustes de los lentes en las cámaras, así como también en el enfoque y en la velocidad de obturación de la imagen realizando pruebas con y sin la luz ambiental de la cabina, para la verificación de la calidad en las imágenes (Figura 30 a), encontrando un problema nuevamente ahora en la lampara led de la cámara #3, donde al momento se lanza la señal para realizar el encendido espontaneo para la toma de la captura, esta misma no realizaba su función adecuada (Figura 30 b).





*Figura 30. Prueba de reflejo de luz. A) Prueba realizada donde no se refleja la luz (Lampara sin funcionar), B) Prueba donde si se refleja la luz (Lampara funcionando) (Elaboración propia).*

#### 4.4 Reacomodo Interno

Además de la problemática de la puerta y la exposición de la luz en las imágenes de prueba, la configuración de las cámaras no era la adecuada porque no se cubría el vehículo completo dando como resultado una imagen cortada sin cumplir con lo requerido en la propuesta del proyecto con la configuración de 3 cámaras por los costados y 1 cámara en cada puerta.

Para poder contrarrestar el problema de la imagen cortada se cambió la configuración de las cámaras, quedando de la siguiente manera, 4 cámaras en las esquinas de la cabina y 4 cámaras en el centro (Figura 31).

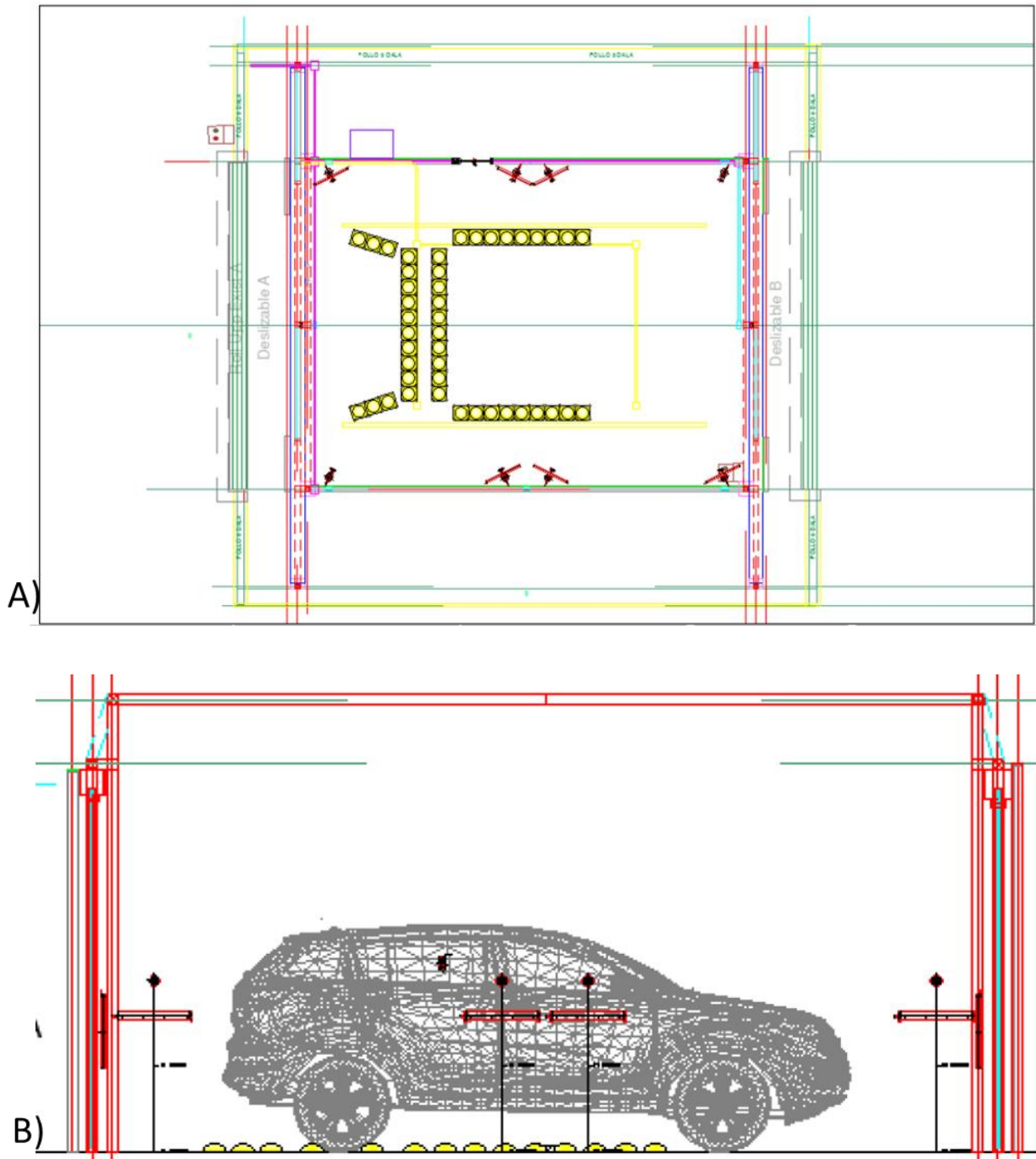


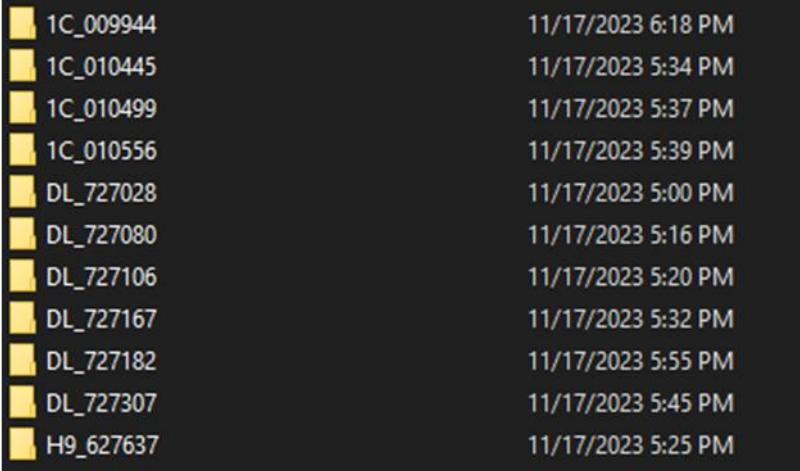
Figura 31. Plano donde se muestra el acomodo de las cámaras. A) Plano con vista superior y B) Plano con vista lateral (Elaboración propia).

## 4.5 Almacenamiento y programación

Una vez resuelto el problema de la configuración de las cámaras, nos encontramos con el siguiente problema.

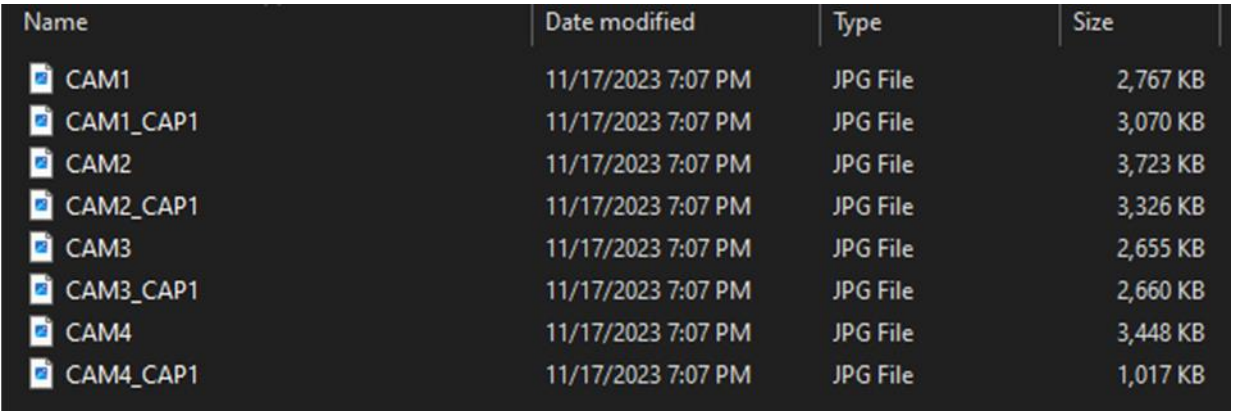
El almacenamiento de imágenes consiste en crear una carpeta por cada vehículo dentro de esta misma se pueden encontrar sus respectivas 8 imágenes y como nombre de la carpeta sería el modelo y el número de serie (Figura 32).

A)



1C_009944	11/17/2023 6:18 PM
1C_010445	11/17/2023 5:34 PM
1C_010499	11/17/2023 5:37 PM
1C_010556	11/17/2023 5:39 PM
DL_727028	11/17/2023 5:00 PM
DL_727080	11/17/2023 5:16 PM
DL_727106	11/17/2023 5:20 PM
DL_727167	11/17/2023 5:32 PM
DL_727182	11/17/2023 5:55 PM
DL_727307	11/17/2023 5:45 PM
H9_627637	11/17/2023 5:25 PM

B)



Name	Date modified	Type	Size
CAM1	11/17/2023 7:07 PM	JPG File	2,767 KB
CAM1_CAP1	11/17/2023 7:07 PM	JPG File	3,070 KB
CAM2	11/17/2023 7:07 PM	JPG File	3,723 KB
CAM2_CAP1	11/17/2023 7:07 PM	JPG File	3,326 KB
CAM3	11/17/2023 7:07 PM	JPG File	2,655 KB
CAM3_CAP1	11/17/2023 7:07 PM	JPG File	2,660 KB
CAM4	11/17/2023 7:07 PM	JPG File	3,448 KB
CAM4_CAP1	11/17/2023 7:07 PM	JPG File	1,017 KB

Figura 32. Registro de carpetas y almacenamiento de imágenes. A) Creación de carpetas con el modelo y el número de serie y B) Guardado correcto de las 8 imágenes por vehículo (Elaboración propia).

Por parte del nombramiento de las carpetas no se había tenido algún problema, ya que si se registraba de manera correcta cada vehículo, el verdadero problema se encontraba en el interior de cada carpeta ya que se podía observar en algunas que la

cantidad de imágenes no estaba completa en algunos casos se obtienen 4 o 6 imágenes y en otros casos la carpeta contiene los 8 apartados pero en algunas ocasiones la “imagen” no tenía peso alguno o estaba la imagen incompleta; otro de los casos es que se encontraba una mezcla de imágenes que no corresponde al modelo, color o especificación del mismo vehículo (Figura 33 y 34).

Name	Date modified	Type	Size
CAM1	1/16/2024 3:28 PM	JPG File	3,299 KB
CAM1_CAP1	1/16/2024 3:28 PM	JPG File	3,283 KB
CAM2	1/16/2024 3:28 PM	JPG File	2,960 KB
CAM2_CAP1	1/16/2024 3:28 PM	JPG File	2,424 KB
CAM3	1/16/2024 3:28 PM	JPG File	0 KB
CAM3_CAP1	1/16/2024 3:28 PM	JPG File	0 KB
CAM4	1/16/2024 3:28 PM	JPG File	4,320 KB
CAM4_CAP1	1/16/2024 3:28 PM	JPG File	2,747 KB

Figura 33. Almacenamiento de imágenes con error dentro de la carpeta (Elaboración propia).

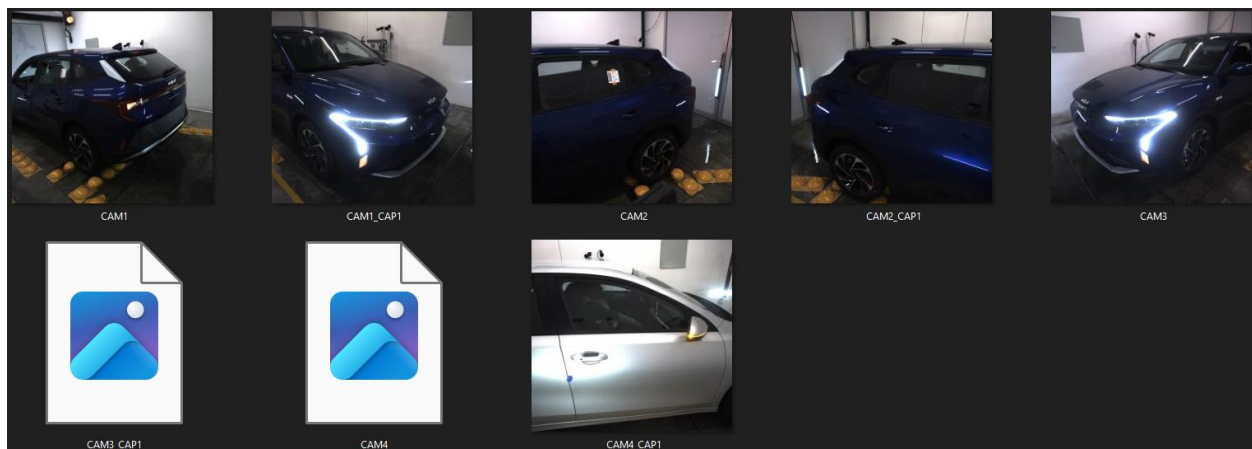


Figura 34. Visualización de imágenes donde se observa 5 imágenes de un mismo modelo y color, 2 imágenes con error en el almacenaje y 1 imagen que no corresponde al modelo y color (Elaboración propia).

Debido a este problema se llegó a la hipotética conclusión de que la programación era el principal problema, llevando a cabo una minuciosa investigación en cada paso de este no se pudo percatar de ningún error en cada línea de la programación.



Una vez descartando que el problema hubiera sido la programación, se continuo en buscar el problema de otra manera, en este caso por la parte física (la memoria externa de los controladores) el propio controlador nos presentaba un error.

Dentro de la misma programación consiste en extraer las imágenes de la memoria interna del controlador y guardarla en la carpeta correspondiente al modelo y vehículo, una vez finalizado el proceso de guardado se deben borrar las imágenes de la memoria, lo cual no se estaba realizando de la manera correcta y debido a que el peso de las imágenes toma aproximadamente 3 minutos en completar todo el proceso requerido en la programación se generaba un cuello de botella en el sistema completo.

En donde se encuentra físicamente el sistema de visión es la unión de 2 conveyors por lo que el tiempo tacto en lo que pasan los vehículos a través de la cabina puede oscilar entre los 30 segundos en momentos de procesamiento seguido de imágenes hasta los 3 minutos, el tiempo ciclo del programa no cumple en los momentos más críticos de un día normal de producción (Figura 35).

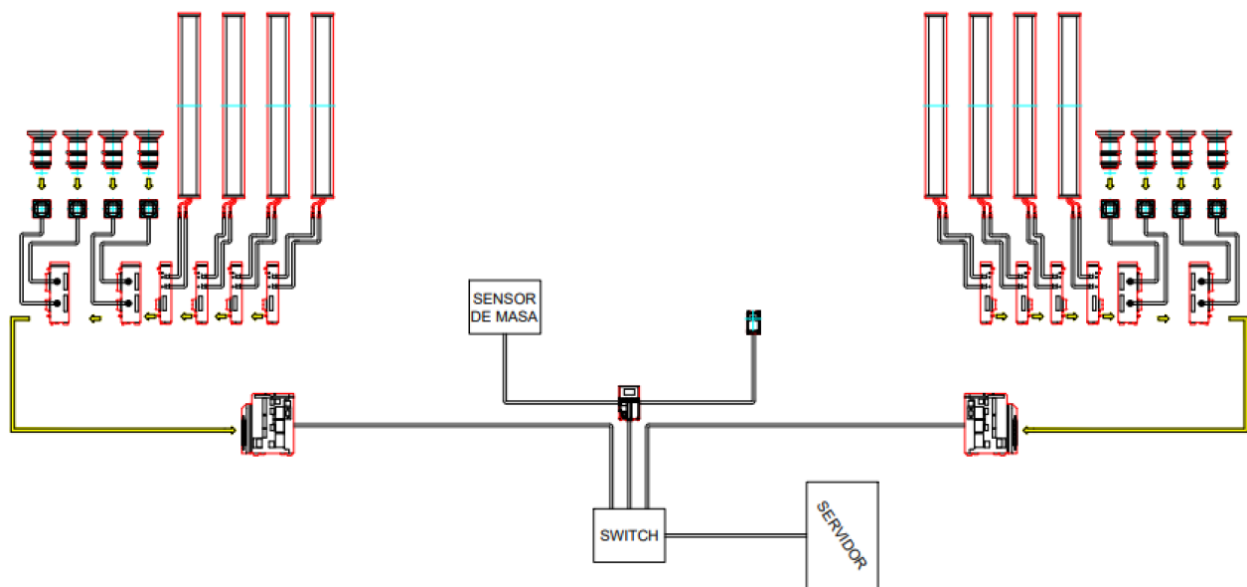


Figura 35. Mapeo de las cámaras, lámparas, controladores y servidor (Elaboración propia).

Por lo que la causa raíz a este problema es debido al tamaño de las imágenes no se logra realizar la descarga de estas y así mismo la depuración de estas en la memoria de los controladores.

Se realizaron pruebas individuales a cada uno de los controladores para visualizar el comportamiento de su tiempo ciclo desde el recibimiento de información, procesamiento, descarga y depuración de las mismas imágenes dando como resultado a la realización de todas estas actividades es un máximo de 5 milisegundos para la descarga de 30 fotografías, de esta manera fue descartada la idea de que los controladores y el error que presentaba no era el problema para que la cabina haga su función correspondiente.

Regresando a la configuración inicial y después de realizar pruebas exhaustivas al sistema, nuevamente se presenta el mismo error en los controladores; debido al nombramiento de las carpetas dentro del mismo servidor local ya que tomaba demasiado tiempo para la actualización de la carpeta con el modelo, número de serie y la colocación de las respectivas imágenes.

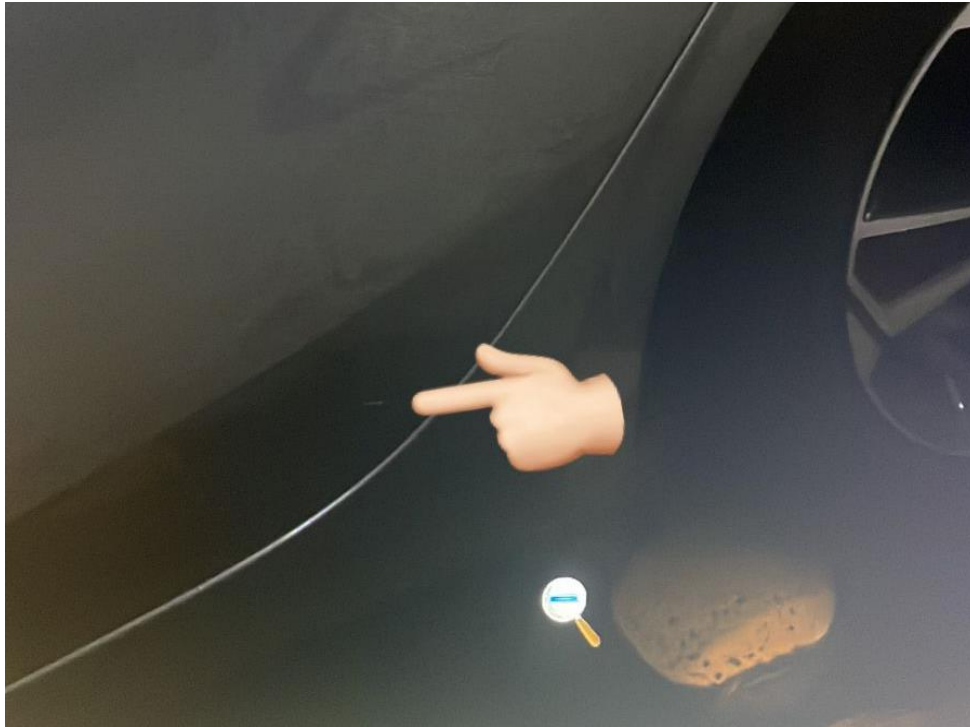
Una vez eliminando el nombramiento de las carpetas el sistema pudo funcionar sin ningún problema y obteniendo una respuesta satisfactoria por la rapidez en el que el sistema funcionaba en los momentos críticos de la producción durante el día. Observando el comportamiento durante el primer turno durante unos días el equipo no presentó ningún error, procedimos a dejar el equipo encendido las 24 horas del día durante los 7 días de la semana ofreciendo capacitación a los involucrados en el sistema.

#### 4.6 Ajustes Finales

Resolviendo el problema del nombramiento se continúa presentando el problema con la calidad de la imagen entregada donde se continúa apreciando una imagen en tono amarillo aun cuando la cabina no permite la entrada de luz exterior y contando con iluminación en led blanco para llegar a la solución de realizar una calibración en las condiciones de prueba y aplicando un balanceo de colores mejorando de esta manera la calidad en las imágenes.

El detalle que no fue tomado en cuenta hasta que se empezó a dejar correr el sistema sin necesidad de supervisión o entrenamiento y aun así mejorando la calidad en la imagen, no se logra apreciar la parte inferior en las unidades, esto debido a los diferentes colores dentro de KIA México, en los colores claros se pueden apreciar todos

los componentes sin problema alguno, mientras que por el otro lado en los colores oscuros era totalmente lo contrario no se lograba apreciar los componentes y mucho menos si estos mismos presentaban algún tipo de daño o defecto (Figura 36).



*Figura 36. Caso real de un defecto detectado por el sistema de visión, mostrando un raspón en la pintura en la puerta trasera (Elaboración propia).*

# Capítulo 5

## Conclusiones, recomendaciones y trabajo a futuro.

### 5.1 Conclusiones generales.

En conclusión, tras 2 años de desarrollo del sistema de visión, se obtuvo lo siguiente:

1. Se instaló una cabina de materiales livianos pintada de color blanco para obtener una uniformidad en la iluminación con medidas de 4.38 m de ancho por 6.13 m de largo y 3.2 mts de altura.
2. Se realizaron numerosas pruebas para encontrar la calidad de imagen óptima, debido a que algunos colores al ser expuestos a la iluminación controlada absorben en diferentes proporciones la luz.
3. Se optimizó la programación para obtener una respuesta más rápida en la descarga de imágenes, para que el sistema de visión no sea el cuello de botella en la producción.
4. Como área de mejora, se realizó una obra civil en el mismo lugar donde se encuentra instalado el sistema, construyendo una fosa con medidas de 4.20 m de largo por 90 cm de ancho y 1.60 m de profundidad.

## 5.2 Recomendaciones.

5.2.1 Debido a las dimensiones de la cabina, la distancia entre la cámara y el vehículo no permite la óptima captura de imágenes. Para capturar de manera completa el vehículo se recomienda utilizar un lente de nombre “ojo de pez” con una abertura de captura de 180°, permitiendo un mayor rango de visión de captura de la cámara (Figura 37).

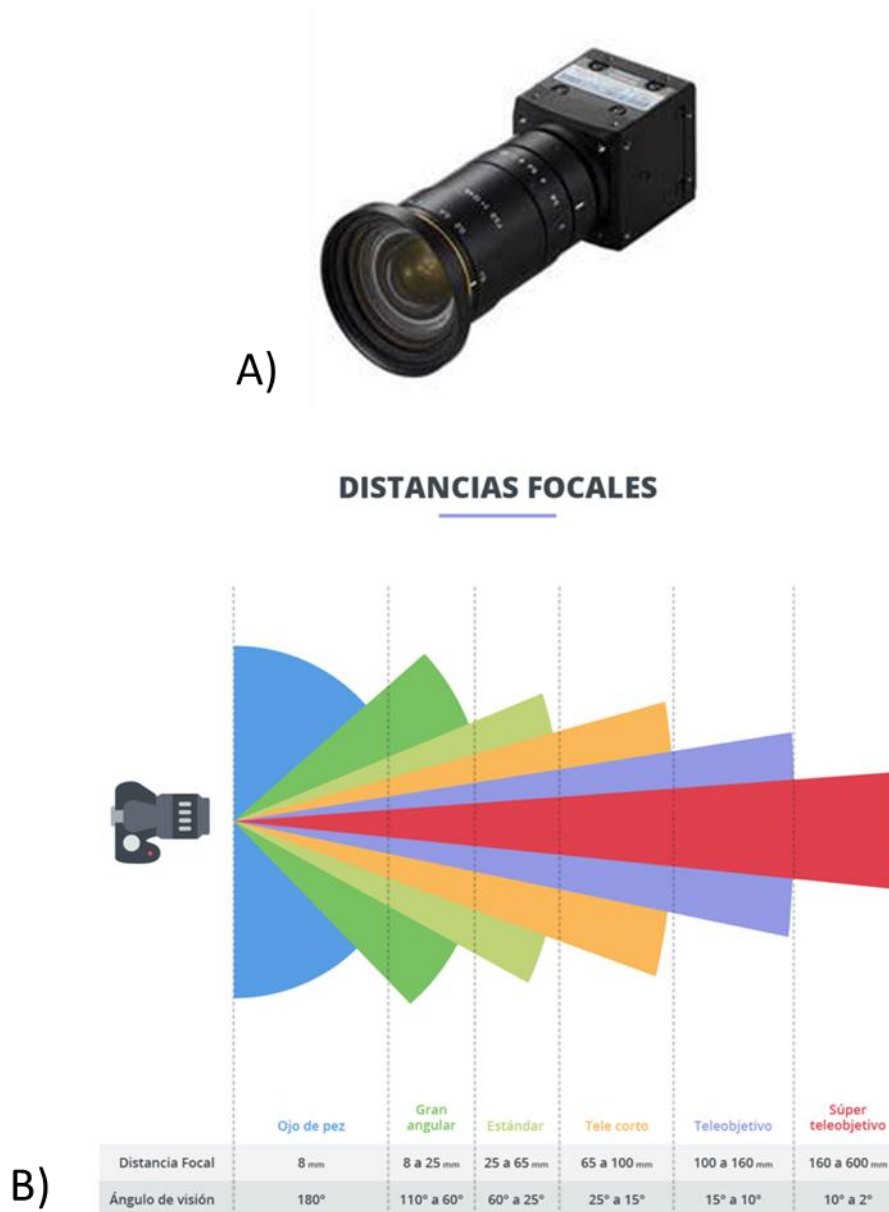


Figura 37. Cámara utilizada y diferentes tipos de lentes. A) Cámara Keyence con lente gran angular y B) Tipos de lentes con sus rangos y ángulos de visión (Fuente de internet).

5.2.2 Se recomienda una segunda pared de Tablaroca en la parte interior de la cabina, con una mínima apertura en el rango de visión de la cámara, simulando un doble fondo, con el objetivo de uniformizar la luz a 360° (Figura 38), ya que las imágenes obtenidas actualmente muestran reflejos en la superficie del vehículo ya sean de luz o de los paneles de los controladores consideradas contaminación visual (Figura 39).



*Figura 38.A) Primera propuesta para la creación de una segunda pared y B) Segunda propuesta para la colocación de módulos de lámparas y una segunda pared para lograr una uniformidad en la iluminación de las imágenes (Elaboración propia).*



*Figura 39. Contaminaciones detectadas en las imágenes de resultado (Elaboración propia).*

### 5.3 Trabajo a futuro

Para seguir con las áreas de oportunidad del sistema de visión,

5.3.1 Se encuentra en desarrollo la elaboración de una fosa dentro de la cabina para la colocación de 4 cámaras extras situadas en cada una de las llantas para la visualización de las posibles fugas en los líquidos de frenos, así como también de esta

forma podemos asegurar las especificaciones por la parte inferior del vehículo, de los cuales serían los siguientes puntos (Figura 40):

- Tipos de suspensión.
- Mofle o escape.
- Confirmación de torques.

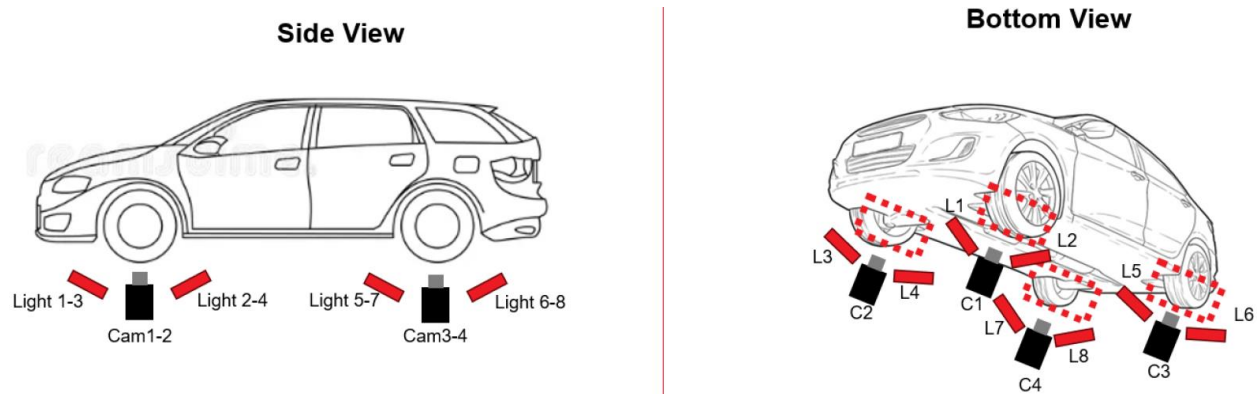


Figura 40. Propuesta de cámaras por la parte inferior (Elaboración propia).

5.3.2 Desarrollo de una inteligencia artificial donde el sistema tendrá su propio juicio (Figura 41) y podrá decidir si las partes a inspeccionar corresponden o no con las especificaciones de dicho vehículo.



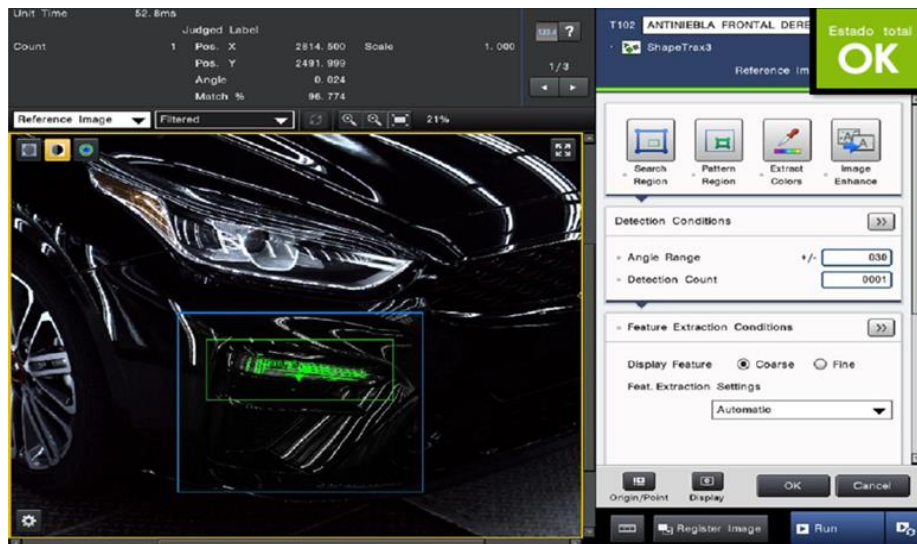


Figura 41. Prueba de cámara con Inteligencia Artificial (Elaboración propia).

5.3.3 Desarrollo una aplicación para la visualización de los resultados en tiempo real, dando como muestra indicadores de calidad.

## Referencias bibliográficas.

1. *2018 U.S. Vehicle Dependability Study*. (2018, February 14). J.D. Power.  
<https://www.jdpower.com/business/press-releases/2018-us-vehicle-dependability-study>
2. *2019 U.S. Vehicle Dependability Study (VDS)*. (2019, February 13). J.D. Power.  
<https://www.jdpower.com/business/press-releases/2019-us-vehicle-dependability-study-vds>
3. *2022 Kia J.D. Power Awards | J.D. Power*. (n.d.). J.D. Power.  
<https://www.jdpower.com/cars/ratings/kia/2022>
4. Morales – Nava (2015). Detector automático de franqueamiento de señal de maniobra para el sistema de transporte colectivo metro mediante algoritmos de visión artificial. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México.
5. Timetoast. (1966). *La evolución de la Robótica timeline*. Timetoast Timelines.  
<https://www.timetoast.com/timelines/la-evolucion-de-la-tecnologia-8e8a8da3-11b6-4648-b5d6-9550be4c28ae>
6. Héctor Omar Ceballos Lepe (2003). Desarrollo de tecnología computacional para la identificación de vehículos automotores mediante la visión artificial. Universidad de Colima, Colima.
7. Pablo Andres Cañadas Betancourt, Geovanny Marcelo Haro Figueroa (2011). Prototipo de un sistema de adquisición de imágenes de vehículo, detección y

reconocimiento automático de los caracteres de la placa en tiempo real por medio de visión artificial, aplicado al control vehicular. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Perú.

8. Hugo Israel Alcaraz Herrera (2012). Control de un robot móvil aplicando control difuso y visión artificial desarrollado en LabView. Universidad Autónoma de México, Ciudad de México.
9. Nirbhar Neogi, Dusmanta K Mohanta, Pranab K Dutta (2014). Revisión de sistemas de inspección de superficies de acero basados en visión. Departamento de ingeniería eléctrica y electrónica, Instituto de tecnología Birla, Mesra, Ranchi 835215, India.
10. Hui-Hui Chu y Zong-Yi Wang (2015). Un sistema basado en la visión para la medición de la calidad posterior a la soldadura y la detección de defectos. Facultad de Automatización de la Universidad de Ingeniería de Harbin, N° 145, Nantong Road, Distrito de Nangan, Harbin, Heilongjiang 150001, China.
11. Kazim Hanbay, Muhammed Fatih Talu, Omer Faruk Ozguven (2016). Sistema y método de detección de defectos en tejido: una revisión sistemática de la literatura. Departamento de informática, Universidad de Bingol, Turquía.
12. Maisa, W. G. V. (2019). Análisis de objetos translucidos usando técnicas de visión por computador. Facultad de tecnologías de la información, telecomunicaciones e industrial
13. Qinbang Zhou, Renwen Chen, Bin Huang, Chuan Liu, Jie Yu, Xiaoqing Yu (2019). Un sistema automático de inspección de defectos superficiales en automóviles mediante métodos de visión artificial. Facultad de Ingeniería

Aeroespacial, Universidad de Aeronáutica y Astronáutica de Nanjing, Nanjing 210016, China.

14. Jun Sun, Chao li, Xiao-Jun Wu, Vasile Palade, Wei Fang (2019). Un Método eficaz de detección y clasificación de defectos de soldadura basado en visión artificial. Laboratorio de reconocimiento de patrones e inteligencia computacional de Jiangsu, Universidad de Jiangnan, Wuxi, Jiangsu 214122, China.
15. Aqsa Rasheed, Bushra Zafar, Amina Rasheed, Nouman Ali, Muhammad Sajid, Saadat Hanif Dar, Usman Habib, Tehmina Shehryar, Muhammad Tariq Mahmood (2020). Detección de defectos en tejidos mediante técnicas de visión artificial: una revisión exhaustiva. Departamento de Ingeniería de Software, Universidad de Ciencia y Tecnología de Mirpur (MUST), Mipur-10250, AJK, Pakistan.
16. Tamás Czimmermann, Gastone Ciuti, Mario Milazzo, Marcello Chiurazzi, Stefano Rocella, Calogero Maria Oddo, Paolo Dario (2020). Enfoques de detección y clasificación de defectos basados en la visión para aplicaciones industriales: una encuesta. Instituto de BioRobotica de la escuela superior de Santa Anna, 56025, Pontedera (PISA), Italia.
17. Yiping Gao, Xinyu Li, Xi Vicent Wang, Lihui Wang, Liang Gao (2021). Revisión de los avances recientes en el reconocimiento de defectos basados en la visión hacia la inteligencia artificial. Laboratorio estatal clave de equipos y tecnología de fabricación digital, Universidad de Ciencia y Tecnología de Huazhong, Wuhan 430074, China.

18. Yajun Chen, Yuanyuan Ding, Fan Zhao, Erhu Zhang, Zhangnan Wu, Linhao Shao (2021). Métodos de detección de defectos superficiales para productos industriales. Departamento de Ciencias de la Información, Universidad Tecnológica de Xi'an, Xi'an 710048, China.
19. Zhonghe Ren, Fengzhou Fang, Ning Yan, You Wu, Estado de arte en detección de defectos basados en visión artificial. Laboratorio Estatal Clave de Tecnología e Instrumentos de Medición de Precisión, Laboratorio de Tecnología de Fabricación de Micro/Nano (MNMT), Universidad de Tianjin, Tianjin 300072, China.
20. Bo Tang, Li Chen, Wei Sun, Zhong-kang Lin (2022). Revisión de la detección de defectos superficiales en productos de acero mediante visión artificial. Facultad de Maquinaria y Automatización, Universidad de Ciencia y Tecnología de Wuhan, Wuhan Hubei, China.

